

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR PARA
CALENTAMIENTO DE AGUA DE DUCHA EN EL SECTOR DE DEPORTES DE LA
UTP**

YESID FERNANDO CARDENAS ACOSTA

CODIGO 1110561612

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

PEREIRA

2019

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR PARA
CALENTAMIENTO DE AGUA DE DUCHA EN EL SECTOR DE DEPORTES DE LA
UTP**

YESID FERNANDO CARDENAS ACOSTA

**Trabajo de grado para optar el título de:
Ingeniero Mecánico**

**PhD. Ing. Edgar Alfonso Salazar Marín
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA**

2019

Pereira, julio de 2019

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del jurado

Pereira, julio de 2019

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, nuestro creador, a mi tía Luz Marina Barajas, mi abuela Ana Maria Barajas, mi tío Víctor Hugo Acosta, mi papa José Yesid Cárdenas, hermanos; que de una u otra manera siempre han creído en mí, me han apoyado y dado mucha fortaleza para sacar esta meta adelante Gracias.

Además, a todas estas personas que han hecho este sueño realidad, a mis familiares más cercanos tías, primas, amigos que se han cruzado en mi vida Universitaria a ellos también mis más sinceros agradecimientos ya que sin todos ellos no sería posible este logro tan grande, quienes brindaron apoyo comprensión y todas las cosas bonitas que la vida tiene para nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tía, familia, amigos y novia que me ayudaron de alguna u otra manera, ya sea de manera económica o moral, logrando terminar un ciclo más en este trayecto de vida tanto profesional como personal.

CONTENIDO

Resumen

Introducción	13
Planteamiento del problema.....	14
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos	15
1. Marco teórico	16
1.1 Tipos de transferencia.....	16
1.2 Colectores solares.....	22
1.2.1 Colectores solares no concentradores.....	24
1.2.1.1 Colector de placa plana.....	24
1.2.1.2 Colector de tubo de evacuado.....	33
1.2.2 Colectores solares concentradores.....	39
1.2.2.1 Colector parabólico compuesto.....	42
1.2.2.2 Colector lineal Fresnel.....	45
1.2.2.3 Colector cilindro parabólico.....	49
1.2.2.4 Colector de canal parabólico.....	52
1.2.2.5 Reflector de disco parabólico.....	52
1.2.2.6 Colector de campos de heliostatos.....	55
1.3 Montajes en el mundo.....	60
1.3.1 Planta termosolar con placa plana Condat, Francia.....	60
1.3.2 Abengoa, IDC y PIC inauguran Xina Solar One.....	61
1.3.3 Reflector lineal de Fresnel SunRay, proyector para proveer energía de manera sostenible en 220 hogares en Melbourne.....	62
1.3.4 Puerto errado 2: inaugura la planta termosolar con tecnología de Fresnel más grande del mundo.....	63
1.3.5 Planta termosolar de canal parabólico Andasol.....	64
1.3.6 Noorenergyone, Dubai colectores cilindro parabólico.....	66

1.3.7	Planta solar térmica de reflector parabólico, India One.....	67
1.3.8	Colector de campo de Heliostatos con torre central, Sevilla-España, Solúcar.....	68
2.	Diseño de colector	72
2.1	Procedimiento para cálculo de temperatura.....	73
3.	Implementación	82
Conclusiones		91
Bibliografía		

CONTENIDO FIGURAS

Figura 1. Mapa declinación solar. Fuente (1)

Figura 2. Componentes de la radiación. Fuente (5)

Figura 3. Radiación solar anual promedio en la tierra. Fuente (1)

Figura 4. Tipos de transferencia de calor. Fuente www.youtube.com/watch?v=QkhcSVZhkTk

Figura 5. Mapa de distribución espacial del potencial energético. Fuente www.ideam.gov.co

Figura 6. Componentes principales de un calentador solar. Fuente (8)

Figura 7. Radiación y perdidas en un colector solar. Fuente (5)

Figura 8. Diagrama esquemático de un colector solar de placa plana. Fuente (11)

Figura 9. Sistemas de agua caliente por termosifón. Fuente (12)

Figura 10. Sistemas de agua caliente indirecta. Fuente (12)

Figura 11. Esquema del colector solar de aire. Fuente (11)

Figura 12. Colector de tubo evacuado simple. Fuente (16)

Figura 13. Colector solar de tubos de evacuación de calor o heat pipe. Fuente (16)

Figura 14. Colector solar de tubos de evacuación de flujo directo o u-pipe. Fuente (16)

Figura 15. Colector parabólico compuesto de Winston. Fuente (15)

Figura 16. Esquema de un Colector Fresnel con reflectores secundarios. Fuente (21)

Figura 17. Colector de lente Fresnel. Fuente:

<https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/772/1/17422.pdf>

Figura 18. Reflector lineal Fresnel. Fuente:

<https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/772/1/17422.pdf>

Figura 19. Lentes Fresnel. Fuente

<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/fresnel/fresnel.htm>

Figura 20. Reflector lineal Fresnel. Fuente: <http://newenergyupdate.com/csp-es/el-crecimiento-de-la-energia-solar-en-india-liderado-por-la-fv-pone-la-mirada-en-los>

Figura 21. Colector Cilindro Parabólico. Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com>

Figura 22. Funcionamiento Colector Cilindro Parabólico. Fuente (23)

Figura 23. Diagrama esquemático Colector solar de platos. Fuente (19)

Figura 24. Colector solar de platos. Fuente (19)

Figura 25. Torre de energía solar y heliostatos. Fuente (27)

Figura 26. Los países con mayor capacidad agregada en el 2017. Fuente (28)

Figura 27. Planta termo solar Savosolar Francia. Fuente (29)

Figura 28. Planta termo solar cilindro parabólica Xina Solar One. Fuente <http://www.abengoa.com/web/es/negocio/energia/termosolar/index.html>

Figura 29. Colector solar lineal de Fresnel. Fuente (31)

Figura 30. Vista perspectiva Colector solar lineal de Fresnel. Fuente (31)

Figura 31. Termo solar lineal de Fresnel España. Fuente (33)

Figura 32. Perspectiva Termo solar Andasol.

Fuente <http://www.grupocobra.com/proyecto/central-termosolar-andasol-1>

Figura 33. Planta cilindro parabólico. Fuente (38)

Figura 34. Planta reflector parabólico India. Fuente (40)

Figura 35. Vista espacial planta reflector parabólico India. Fuente: <http://www.comsolar.in/what-we-do/demonstration-projects/solar-thermal-power-plant-india-one/>

Figura 36. Vista espacial planta Solúcar.

Fuente https://elpais.com/diario/2007/03/31/andalucia/1175293327_850215.html

Figura 37. Torre de energía planta Solúcar. Fuente (41)

Figura 38. Colector solar de tubo de evacuado en cubierta de duchas zona deportiva UTP. Fuente: Autor

Figura 39. Proceso de descenso colector solar. Fuente: Autor.

Figura 40. Desplazamiento colector solar. Fuente: Autor.

Figura 41. Lugar de instalación colector solar. Fuente: Autor.

Figura 42. Colector solar lugar de modificación. Fuente: Autor.

Figura 43. Despiece colector solar. Fuente: Autor.

Figura 44. Fabricación platinas de acero. Fuente: Autor.

Figura 45. Platinas de acero. Fuente: Autor.

Figura 46. Estructura de rigidez. Fuente: Autor.

Figura 47. Estructura de colector solar. Fuente: Autor.

Figura 48. Estructura entramada en X. Fuente: Autor.

Figura 49. Tubo soldado en forma cuadrada de soporte. Fuente: Autor.

Figura 50. Estructura colector solar con modificaciones. Fuente: Autor.

Figura 51. Proceso de anclaje del colector en la cubierta. Fuente: Autor.

Figura 52. Colector solar instalado en la cubierta. Fuente: Autor.

CONTENIDO TABLAS

Tabla 1 fuente Solar EnergyEngineering

Tabla 2 Potencia mundial instalada de Energía Termosolar de Concentración (MW_p)

Tabla 3 instalaciones de colectores solares de concentración en el mundo

RESUMEN

En este trabajo de grado se describen los tipos de colectores solares, enfocándose en el diseño y modificación de un colector solar de tubo de evacuado, ubicado en los baños de profesores y funcionarios en la zona de deportes de la UTP.

Para el diseño y la modificación del colector solar, se analizaron diferentes factores determinantes como: la temperatura, inclinación de la cubierta, radiación, incidencia solar, diseño hidráulico, análisis de estructura, entre otras, con el fin de que este quedara localizado en el lugar óptimo para su buen funcionamiento a la hora de aprovechar el sol para el calentamiento de un fluido.

Para la instalación del colector, se describe el proceso constructivo, teniendo en cuenta las respectivas determinantes, donde se acude a modificaciones pertinentes, para que tenga un buen funcionamiento a la hora de captar la radiación solar, para así lograr la máxima temperatura en el fluido de trabajo.

Palabras claves: Colector solar de tubo de evacuado, fluido de transferencia térmica, radiación solar, ángulo de aceptación, transferencia térmica.

INTRODUCCIÓN

Debido al uso desmedido de la energía en la actualidad y a la dependencia generada por la misma; igualmente, la utilización del petróleo como fuente de energía, al ser un recurso natural no renovable su existencia es limitada, las operaciones relacionadas con la explotación y el transporte han generado contaminación de las fuentes hídricas, el suelo y la atmosfera y, a su vez, la pérdida de biodiversidad. Como se evidencia en los derrames de petróleo en ríos y océanos, los cuales han afectado no solamente a la población humana sino también a especies animales y vegetales terrestres y acuáticas por su consumo.

Comúnmente, a las energías que provienen de recursos renovables se les denomina energías alternativas, las cuales últimamente han recibido un importante respaldo de la comunidad internacional con el “Acuerdo de Paris” suscrito en la Cumbre Mundial del clima, celebrada en diciembre de 2015 en la capital Francesa.

Entre estas energías se encuentran la energía geotérmica, proveniente del interior de la tierra, la cual es convertida de manera útil para actividades humanas sin generar ningún tipo de emisiones contaminantes; entre otros recursos renovables se encuentra la energía eólica, el movimiento ondulante de las mareas y la energía del sol, esta última en la actualidad ha desarrollado un papel importante como la fuente de energía más potente con la cual cuenta la humanidad, debido a que la energía solar que llega a la tierra durante un año puede suplir 6.720 veces más la necesidad energética del mundo.

En nuestro contexto, Colombia es un país que por su posición geográfica ubicado en la zona ecuatorial, cuenta con radiación solar constante en determinadas zonas del territorio, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar. Este efecto puede durar las 12 horas al día, registrando incluso los índices más altos a nivel mundial. Por lo cual, con una menor cantidad de paneles solares a diferencia de otros países, es posible abastecer una casa o edificio, convirtiéndolo sostenible en cuanto a nivel económico y eficiencia a largo plazo. Sin embargo, apenas se están iniciando los primeros pasos en este tipo de tecnologías, lo que hace que apenas se estén adaptando en Colombia.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al desmesurado crecimiento de la población perteneciente a la Universidad Tecnológica de Pereira interesada en llevar a cabo actividades deportivas, se ha podido evidenciar problemas de salud, relacionados en algunas ocasiones al cambio brusco de temperatura a la hora de ducharse; problemas como lo son circulatorios y de presión arterial. Lo anterior se presenta porque las instalaciones de la universidad no cuentan con las condiciones óptimas como sistema de calentamiento de agua, para que a la hora de terminar la actividad física se cumplan las indicaciones recomendadas, como lo es ducharse preferiblemente con agua tibia por encima de la fría para así relajar los músculos y reducir la sudoración.

Entre los sistemas de calentamiento de agua que se encuentran son los siguientes: los calentadores de gas, calentadores eléctricos, calderas murales de calefacción o colectores solares. Estos sistemas mencionados ayudarían considerablemente a la población a evitar daños a la salud anteriormente descritos. Aunque existen diferentes tipos de calentadores y algunos de ellos tienen una utilización óptima frente a otros se ha decidido realizar la instalación de un colector solar ya que la energía que se utiliza es totalmente limpia.

El colector solar captura la energía térmica del sol para calentar el agua que se utiliza en el lugar de instalación. Este tipo de tecnología solar utiliza una serie de tubos especialmente diseñados y revestidos con materiales que absorben los rayos del sol logrando así obtener agua caliente durante todo el día y la noche hasta en climas fríos como el de Bogotá esto debido a que tiene un tanque especial que permite que el agua conserve buena parte del calor que se absorbió con el sol durante el día.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, adecuar e implementar de manera óptima un colector solar para suplir de agua caliente la ducha de funcionarios del edificio de deportes de la Universidad Tecnológica de Pereira.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el fundamento científico de la técnica que se utiliza para calentar el agua mediante un colector solar (Estado del arte en Collectores solares).
- Determinar los niveles de radiación promedio disponible para la zona cafetera y en particular la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Diseñar el montaje de la estructura del colector definiendo el ángulo adecuado de exposición en función de la superficie disponible.
- Analizar la temperatura promedio alcanzada por el tanque principal del colector.
- Efectuar el montaje del colector sobre la estructura, realizando las adecuaciones necesarias para un funcionamiento óptimo.
- Realizar las mediciones necesarias para validar los valores de temperatura previstos y establecer valores de eficiencia.

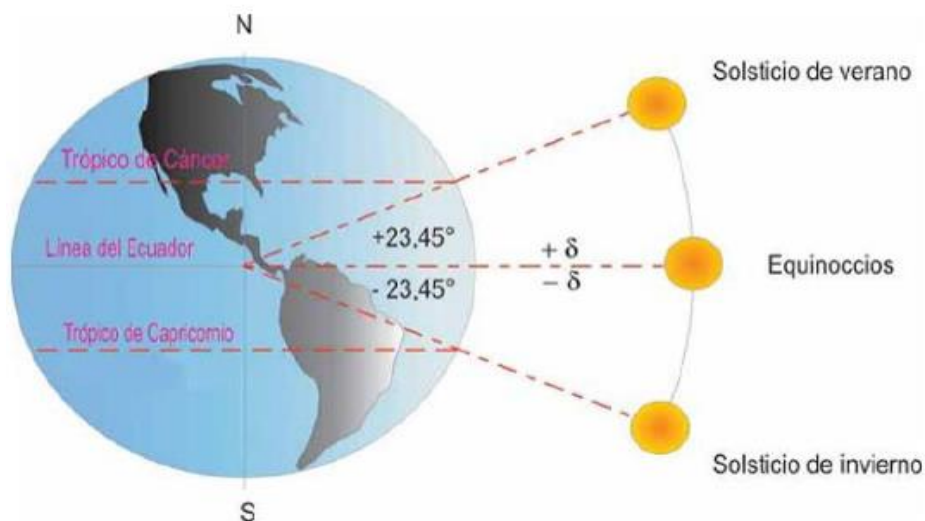
1. MARCO TEÓRICO

1.1 Tipos de transferencia

La Tierra en su movimiento alrededor del sol describe una órbita elíptica en la cual la distancia promedio tierra sol es de aproximadamente 149.46×10^6 km [1]. En los equinoccios (el sol se encuentra sobre la línea Ecuador, por lo que el día y la noche en ambos hemisferios tienen la misma duración), el eje de rotación de la Tierra es perpendicular a los rayos del Sol, que caen verticalmente sobre el Ecuador. En los solsticios (el Sol se encuentra más cerca o más lejos de uno de los hemisferios terrestres, aumentando la duración del día en una parte del mundo), el eje se encuentra inclinado $23,45^\circ$, por lo que los rayos solares caen verticalmente sobre el trópico de Cáncer (verano en el hemisferio norte) o de Capricornio (verano en el hemisferio sur) [2]. Las estaciones son una consecuencia de la inclinación del eje de la tierra hacia la línea perpendicular al plano eclíptico. Este ángulo formado entre el plano ecuatorial de la Tierra y la línea tierra Sol se denomina declinación solar [1].

A causa de la excentricidad de la órbita terrestre, la distancia entre el Sol y la Tierra varía a lo largo del año y la Tierra recorre su trayectoria con velocidad variable. Va más deprisa a comienzos de enero, cuando está más cerca del Sol (en el perihelio, a 147,5 millones de km); y más despacio, a principios de julio, cuando está más lejos (en el afelio, a 152,6 millones de km) [2].

Figura 1. Mapa declinación solar. Fuente (1)

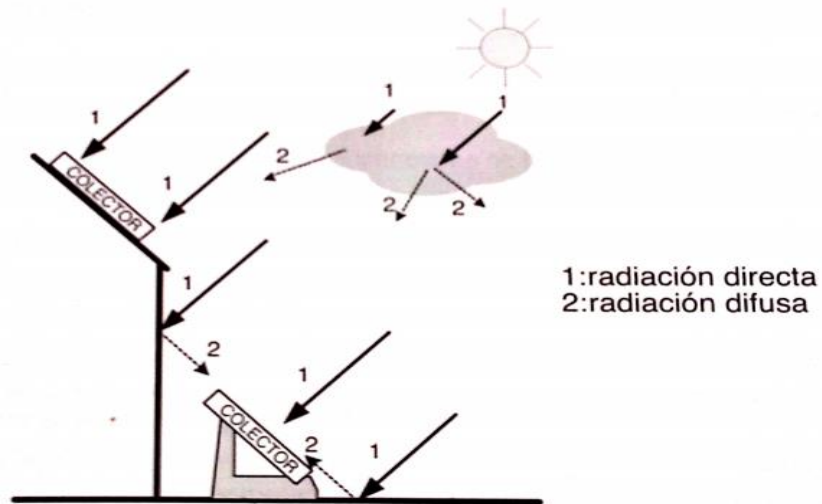


La energía liberada del Sol se transmite mediante la radiación solar, la cual es un conjunto de radiaciones electromagnéticas, ya que el Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 °K . La radiación solar va viajando a través del espacio en forma de ondas, dependiendo de la cantidad de energía que lleven las ondas se van clasificando a lo largo del espectro electromagnético, siendo así que las ondas más energéticas son los rayos gamma, rayos X y ultravioleta, los de menos energía son los infrarrojos, microondas y las ondas de radio [3].

Podríamos pensar que toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pero no es así, ya que las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono (los componentes de la atmósfera actúan sobre la radiación solar) en parte, reflejándola (nubes), otra porción es absorbida (por el ozono, oxígeno, anhídrido carbónico, vapor de agua, entre otros) y finalmente otra parte también dispersándola (por las moléculas, gotas de agua, y el polvo en suspensión, entre otros). Así mismo, de la radiación que llega al suelo, una parte es absorbida por el mismo suelo y la otra es reflejada a la atmósfera [4].

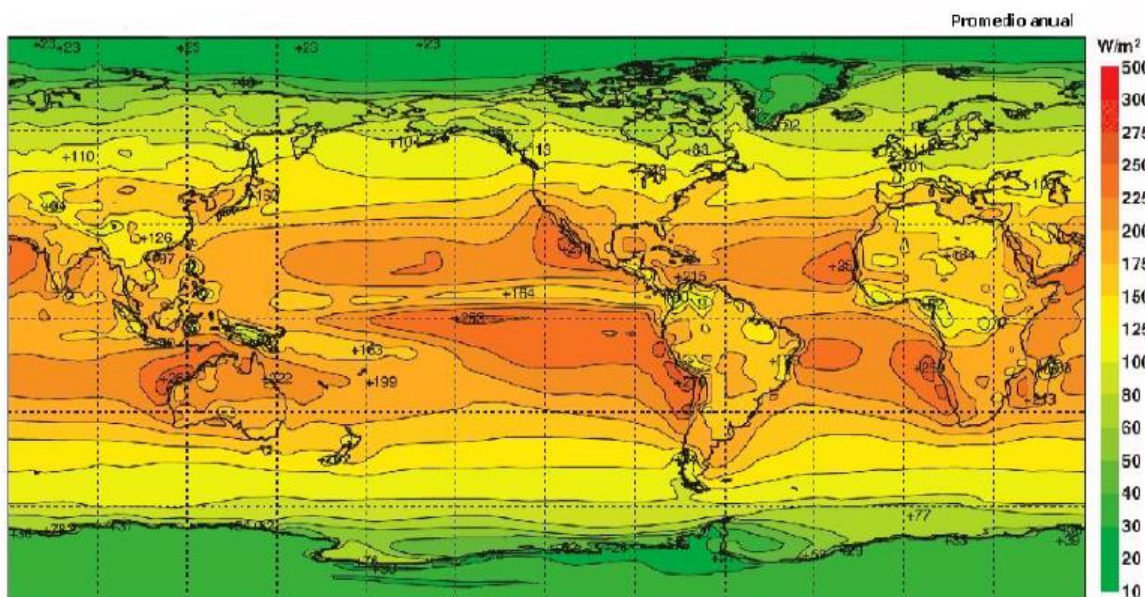
El resultado de estos efectos es la descomposición de la radiación solar incidente sobre un receptor en tres componentes que a continuación mencionamos, como es la radiación directa, la cual llega sin cambio de dirección y sin interactuar con nada (es la más importante en un día soleado), la radiación difusa, es producto de los choques de la radiación directa con los componentes atmosféricos (es la típica en los días nublados) y la radiación de albedo (reflejada), es la que llega procedente de la reflexión de la radiación directa en los elementos del entorno. La radiación total (la suma de las radiaciones directa+difusa+albedo) incidente en una superficie se denomina radiación global [4].

Figura 2. Componentes de la radiación. Fuente (5)



En general llamamos radiación a la energía proveniente del Sol, pero tenemos que distinguir entre potencia y energía, empleando así definiciones más precisas, por lo cual se denomina Irradiancia, a la potencia de radiación incidente sobre una superficie por unidad de área y se mide en W/m^2 , siendo así la Irradiancia solar extraterrestre de 1300 W/m^2 , pero bajo buenas condiciones atmosféricas (cielo limpio y sin nubes) se obtiene el 77% de esta Irradiancia, es decir, 1000 W/m^2 . Por otro lado, se denomina radiación a la energía por unidad de superficie a lo largo de un cierto periodo de tiempo y se mide en kWh/m^2 , es decir potencia [4].

Figura 3. Radiación solar anual promedio en la tierra. Fuente (1)



Un detalle muy importante con respecto al sol es que proporciona una enorme cantidad de energía a la Tierra 15×10^{17} kWh/ año, la cual es capaz de cubrir 5000 veces la demanda energética existente, ya que la energía global en la Tierra se encuentra en 30×10^{13} kWh/ año. Esta energía transmitida a la Tierra es transferida a los cuerpos dentro de ella de tres maneras básicas como lo es la conducción, la cual se produce cuando dos objetos a diferentes temperaturas entran en contacto haciendo que el calor del objeto de mayor temperatura fluya hacia al de menor buscando alcanzar el equilibrio térmico, la convección, es la que tiene lugar en líquidos y gases ya que se produce cuando las partes más calientes de un fluido ascienden hacia las zonas más frías transmitiendo el calor a estas zonas, y por último la radiación, la cual no necesita el contacto de la fuente de calor que este es emitido por un cuerpo debido a su temperatura [5].

Figura 4. Tipos de transferencia de calor. Fuente www.youtube.com/watch?v=QkhcSVZhkTk



Se ha mencionado que la cantidad de radiación solar que entra en la Tierra y la que sale es la misma, esto no es del todo cierto, porque de ser así, la temperatura media global de nuestro planeta sería de -88 grados. Necesitamos algo que nos ayude a retener calor para poder tener la temperatura tan agradable y habitable que haga posible la vida en el planeta. Ahí es donde introducimos el efecto invernadero; Cuando la radiación solar incide en la superficie terrestre, ésta devuelve casi la mitad de nuevo a la atmósfera para expulsarla al espacio exterior. Pues bien, sabemos que las nubes, el aire y el resto de componentes atmosféricos absorben una pequeña parte de la radiación solar. Sin embargo, esta cantidad absorbida no es suficiente para poder mantener una temperatura estable y que haga habitable nuestro planeta [3].

Los llamados gases de efecto invernadero son aquellos gases que retienen parte de la temperatura que emite la superficie terrestre que devuelve de nuevo a la atmósfera. Los gases de efecto invernadero son: el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, el metano, etc. Cada gas de efecto invernadero tiene una capacidad distinta para absorber radiación solar. Mientras más capacidad tenga para absorber radiación, más calor retendrá y no dejará que vuelva al espacio exterior [3].

A lo largo de la historia del ser humano, la concentración de gases de efecto invernadero (entre ellos el que más es nombrado es el CO_2) ha ido aumentando cada vez más. El auge de dicho aumento se debe a la revolución industrial y a la quema de los combustibles fósiles en la industria, la energía y el transporte. La quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, provocan emisiones de CO_2 y metano. Estos gases en una emisión cada vez mayor provocan que retengan una gran cantidad de radiación solar y no permite que ésta sea devuelta al espacio exterior [3].

Sin embargo, el aumento de este efecto que llamamos invernadero es contraproducente, puesto que lo que estamos haciendo es aumentar las temperaturas medias globales cada vez más. Conforme más concentración hay en la atmósfera de estos gases que absorben radiación, más calor van a retener y, por lo tanto, van a ascender más las temperaturas [3].

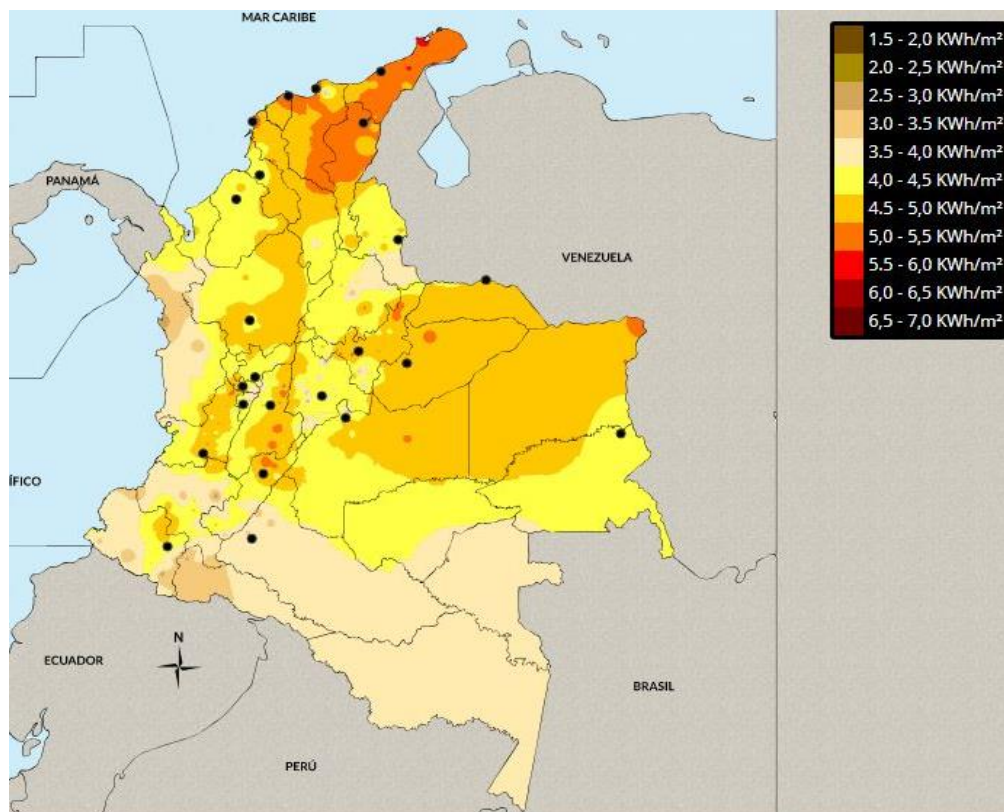
La necesidad de buscar alternativas que permitan reducir el efecto invernadero y el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas (las cuales tienen el fin de garantizar el suministro energético de manera sostenible y medioambientalmente aceptable), es uno de los retos internacionales de mayor importancia, ello queda de manifiesto en los informes de la Agencia Internacional de la Energía que emite cada año mediante el Word Energy Outlook en donde se señalan los desafíos en lo que respecta a la generación de energía limpia, cambio climático y desarrollo sostenible [6].

En Colombia también se hace eco de este significativo esfuerzo, no con la intensidad que se debiera, pero en la actualidad se adelantan actividades que contribuyen al desarrollo de las energías renovables a lo largo del territorio nacional. La Ley 1715 firmada el 13 de mayo del 2014 referente a la regulación de la integración de las energías renovables en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) hace referencia a los mecanismos e incentivos para el impulso de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), lo cual favorecerá su desarrollo en el país. Esto, sumado a los múltiples beneficios que aportan estas fuentes de energía, tales como la reducción de

emisiones de gases de Efecto Invernadero (GEI), el aprovechamiento de los recursos renovables autóctonos, la generación de empleo, el desarrollo científico y tecnológico, la paulatina reducción de la dependencia de fuentes fósiles y la maximización del desarrollo sostenible hace que se visualice un desarrollo económico importante en el país [6]

En Colombia por su posición geográfica en el planeta, dentro de la zona tórrida y en la región andina existen condiciones climáticas variadas y especiales, haciendo que existan diversas alternativas que pueden garantizar una utilización óptima de los recursos de energías no convencionales. Desde esta perspectiva, algunos estudios señalan que en distintas zonas del país existe una variedad interesante de recursos renovables, con capacidad de ser transformados en energía final. De ellos, el recurso solar es de especial importancia debido a su disponibilidad en prácticamente todo el territorio nacional con un promedio diario multianual cercano 4,5 kWh/m² destacándose la península de la Guajira con un valor promedio de 6,0 kWh/m² y la Orinoquía con un valor un poco menor [6]. El IDEAM representa la distribución espacial del potencial energético para las zonas de Colombia la cual se muestra en el siguiente mapa.

Figura 5. Mapa de distribución espacial del potencial energético. Fuente www.ideam.gov.co



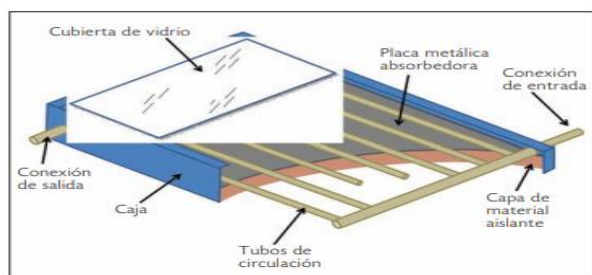
De estudios que se han realizado para la radiación presente en el departamento de Risaralda especialmente para la ciudad de Pereira, por parte de la unidad meteorológica de la facultad de ingeniería mecánica de la UTP, se han encontrado valores para la radiación de $4,35 \text{ kWh/m}^2$ [7], lo cual al comparar con el mapa podemos notar que es muy similar.

1.2 COLECTORES SOLARES

1.2.1 COLECTORES SOLARES NO CONCENTRADORES

La “caja caliente” es un invento del siglo XVIII cuya herencia en la tecnología solar ha perdurado hasta nuestros días. Desde antaño se conocía la capacidad del vidrio para retener el calor en habitaciones e invernaderos. En 1767, un científico francés llamado Horace de Saussure decidió construir un dispositivo experimental pequeño para estudiar este fenómeno, su modelo consistía en una caja con fondo negro, aislada con lana por sus costados y cubierta por arriba con una tapa de vidrio. De manera sorpresiva, al poner este dispositivo al sol pudo medir temperaturas interiores de hasta 120°C . Se alcanza tan alta temperatura debido a que el vidrio es transparente a la luz solar; ésta lo atraviesa y calienta el interior de la caja, pero a la vez evita el escape del calor, provocando algo similar al “efecto invernadero”. El vidrio actúa de dos maneras: en primer lugar, no permite que el aire caliente del interior de la caja ascienda a la atmósfera y se lleve energía; en segundo lugar, reduce el escape de energía en forma de radiación infrarroja emitida por la superficie caliente, ya que el vidrio no es transparente a este tipo de radiación. Una aplicación directa de la caja caliente son las cocinas solares, basta poner en su interior recipientes oscuros conteniendo los alimentos que se desea cocer. El concepto de la caja caliente es también la base del funcionamiento de uno de los dispositivos solares más usados en el mundo actual como lo es el colector solar [8].

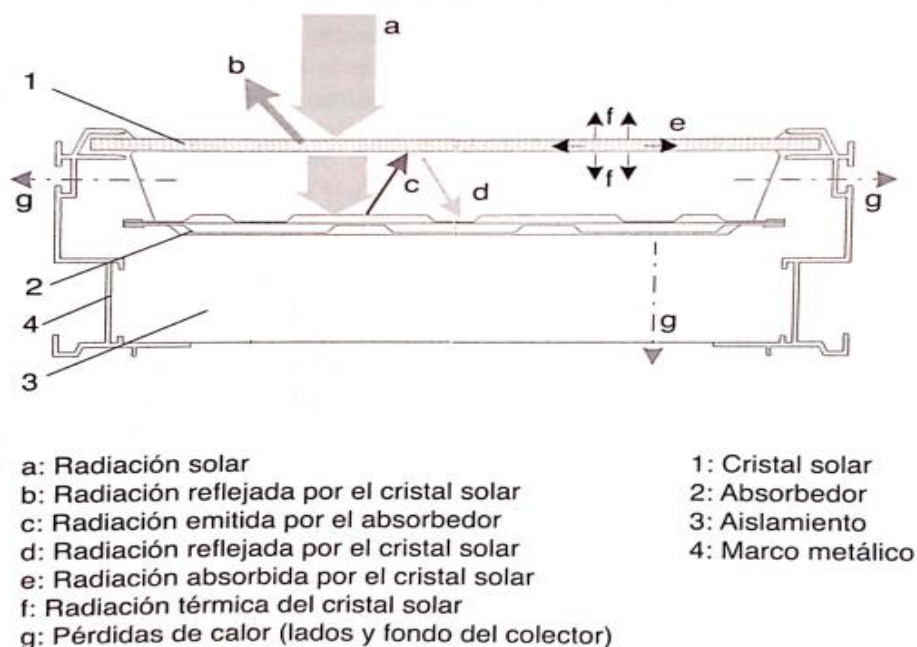
Figura 6. Componentes principales de un calentador solar. Fuente (8)



El término "colector solar" se refiere comúnmente a un dispositivo para calentar agua con el sol, además existen diferentes tipos de colectores solares y estos son utilizados dependiendo de la temperatura que se quiera alcanzar, como por ejemplo los calentadores solares planos, normalmente no llegan más allá de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero existen otros tipos de colectores, como los de tubo evacuado o los colectores parabólicos compuestos, que permiten extender este intervalo de operación incluso hasta los $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, en algunos casos. Para temperaturas mayores es necesario recurrir a los concentradores solares [9].

Los colectores solares térmicos se dividen en: no concentrados o concentrados. En los colectores no concentrados, el área de apertura (el área que recibe la radiación solar) es aproximadamente la misma que el área de absorción (el área que absorbe la radiación), este tipo no tiene partes extra excepto el propio colector. Los colectores concentradores tienen una apertura mucho mayor que el área del absorbente (los espejos adicionales enfocan la luz solar sobre el absorbente) y solo recogen el componente directo de la luz solar. Los colectores no concentrados se utilizan normalmente en edificios residenciales y comerciales para la calefacción de espacios, mientras que los colectores concentradores se usan en plantas de energía solar concentrada, generando electricidad al calentar un fluido de transferencia de calor para impulsar una turbina conectada a un generador eléctrico[10].

Figura 7. Radiación y perdidas en un colector solar. Fuente (5)



TIPOS DE COLECTORES SOLARES

Existen diferentes tipos de colectores solares, pero todos ellos están contruidos con el mismo principio base, en la tabla 1 se presentan los tipos de colectores solares de acuerdo a la aplicación según su temperatura:

Tabla 1 fuente Solar Energy Engineering

	Movimiento	Tipos de colectores	Temperatura (°C)
No concentradores	Estacionario	Colectores de placa plana	30-80
		Colector de tubo evacuado	50-200
		Colector parabólico compuesto	60-240
Concentradores	Seguimiento de un solo eje	Reflector lineal Fresnel	60-250
		Colector cilindro-parabólico	60-300
		Colector de canal cilíndrico	60-300
		Reflector de disco parabólico	100-500
	Seguimiento de dos ejes	Colector de campos de heliostatos	150-2000

1.2.1.1 COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA

El colector de energía solar de placa plana es el corazón de cualquier sistema de captación de energía solar, este está diseñado para funcionar en el rango de baja temperatura (menos de 60 °C) o en el rango de temperatura media (menos de 100 °C), estese utiliza para absorber la energía solar, convertirla en calor, y luego transferir ese calor a una corriente de líquido o gas. El colector solar cuenta con una larga vida útil, aunque tiende a ser afectado por los efectos que generan la radiación ultravioleta del Sol, la corrosión o atascamientos debido a la acidez, alcalinidad o dureza del HTF(fluido hidráulico térmico), congelación o retención de aire en el caso del agua, o deposición de polvo o humedad en el caso del aire [11].

Un colector de placa plana solar generalmente consiste en una gran placa de absorción la cual toma la mayor cantidad de radiación posible a través del acristalamiento, los materiales más

utilizados para las placas absorbedoras son el cobre, el aluminio y el acero inoxidable; debido a que son buenos conductores térmicos, pero también podemos encontrar placas de plástico resistentes a los rayos UV, estos normalmente se utilizan para aplicaciones de baja temperatura [11]. La absorción de la superficie del colector para la radiación solar de onda corta depende de la naturaleza, el color del revestimiento y del ángulo de incidencia, estos revestimientos están pintados o químicamente grabados en negro para absorber la mayor cantidad de radiación solar posible, para así obtener una máxima eficiencia [12].

Esta superficie de absorción de calor ennegrecida tiene varios tubos o tubos de cobre paralelos llamados elevadores, que recorren la placa y contienen el fluido de transferencia de calor. Estos tubos de cobre se unen o se sueldan directamente a la placa de absorción para garantizar el máximo contacto con la superficie y la transferencia de calor. La luz del sol calienta la superficie absorbente que aumenta la temperatura. A medida que la placa se calienta, este calor se conduce a través de los tubos ascendentes y es absorbido por el fluido que se transporta dentro de los tubos de cobre [12].

Los tubos y la placa de absorción están encerrados en una caja de madera o metal aislada con una lámina de material de vidrio o plástico en la parte frontal, para proteger la placa de absorción incluida y crear un espacio de aire aislante. Este material de acristalamiento no absorbe la energía térmica del sol en una extensión significativa y, por lo tanto, la mayor parte de la radiación entrante es recibida por el absorbedor ennegrecido. El espacio de aire entre la placa y el material de acristalamiento atrapa este calor y evita que se escape hacia la atmósfera. A medida que la placa absorbente se calienta, transfiere calor al fluido dentro del colector, pero también pierde calor a su alrededor. Para minimizar esta pérdida de calor, la parte inferior y los lados de un colector de placa plana son aislados con espuma rígida a alta temperatura o aislamiento de papel de aluminio, los materiales más utilizados para el aislamiento son la lana mineral, la lana de vidrio y la espuma de vidrio. La espuma de poliuretano se utiliza para aplicaciones de baja temperatura y el styropor se utiliza muy raramente. [12].

El material absorbente en un colector de placa plana, además de tener una alta absorbancia de la radiación incidente, también debe tener una baja emisividad, buena conductividad térmica y ser estable térmicamente bajo temperaturas encontradas durante la operación y el estancamiento, debe ser duradero, tener un peso reducido por unidad de superficie y, lo que es más importante,

ser económico. Las láminas de metal recubiertas de negro (en el calentador de aire) y las aletas de los calentadores de agua se utilizan con frecuencia como absorbentes debido a su eficacia, facilidad de uso, disponibilidad y costo relativamente bajo. Sabiamente o no, una multitud de diferentes materiales absorbentes han sido probados tanto para el calentamiento de aire como para el calentamiento de agua solar [10].

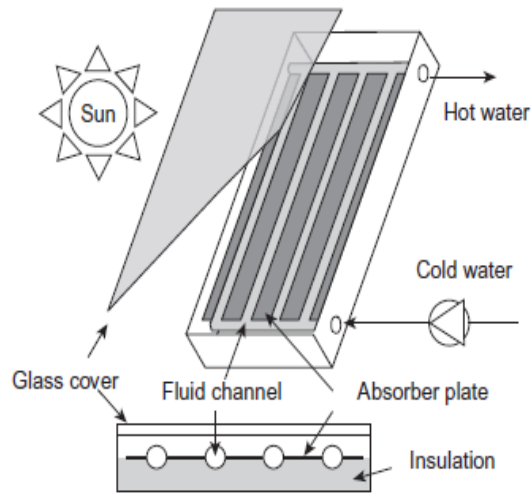
Los colectores de placas planas pueden calentar el fluido en el interior utilizando la luz solar directa o indirecta desde una amplia gama de ángulos diferentes, lo que lleva a que no requieran rastreo del sol haciendo que usualmente estén fijos y requieran poco mantenimiento. También funcionan con luz difusa, que es dominante en los días nublados, ya que es el calor circundante el que se absorbe y no la luz, a diferencia de las células fotovoltaicas. La temperatura del fluido o gas en circulación dependerá en gran medida de la época del año, de lo despejados que estén los cielos y de la velocidad con que el fluido o gas se muevan a través de las tuberías colectoras [12]. Los colectores solares deben estar orientados directamente hacia línea del Ecuador, hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el sur. El ángulo de inclinación óptimo del colector está cerca de la latitud según la ubicación ($\pm 15^\circ$). Si la aplicación es de enfriamiento solar, el ángulo de instalación óptimo es latitud - 10° , de modo que el haz solar sea perpendicular al colector durante el verano. Si la aplicación es calefacción solar, el ángulo de instalación óptimo es latitud + 10° . Sin embargo, se encontró que para la aplicación de agua caliente durante todo el año, el ángulo óptimo es latitud + 5° , que proporciona un rendimiento algo mejor durante el invierno, cuando el agua caliente es más necesaria [13].

Las principales aplicaciones de estas unidades son en calefacción de agua solar, calefacción de edificios, aire acondicionado y calor de proceso industrial. Un colector de placa plana generalmente tiene los siguientes componentes:

- Un acristalamiento el cual consiste en una o más láminas de vidrio u otro material de transmisión de radiación.
- Tubos, aletas o pasajes para conducir o dirigir el HTF desde la entrada a la salida
- Placas de absorción corrugadas o acanaladas a las cuales se le unen los tubos, aletas o pasajes. La placa puede ser integral con los tubos.
- Cabezales o colectores para admitir o descargar el HTF.

- Aislamiento para minimizar la pérdida de calor desde la parte posterior y lateral del colector.
- Contenedor o carcasa para rodear los otros componentes y protegerlos del polvo o la humedad [11].

Figura 8. Diagrama esquemático de un colector solar de placa plana. Fuente (11)



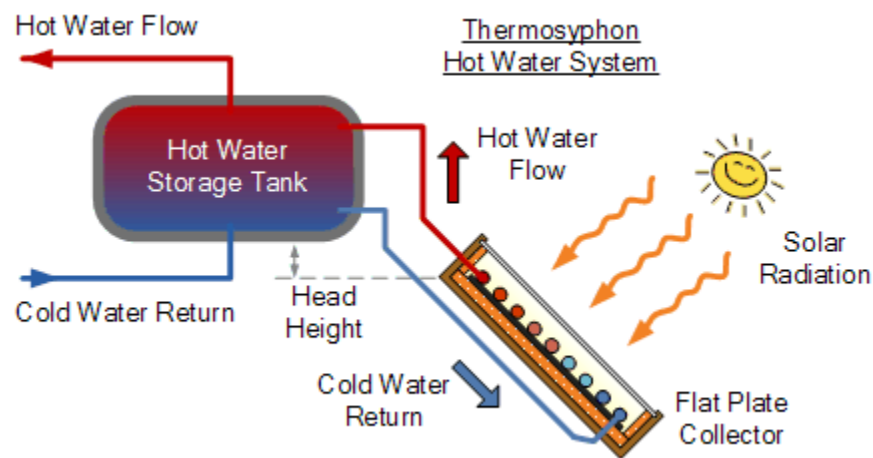
Hay diferentes maneras de calentar el fluido que se va a usar. Por ejemplo, los sistemas de calentamiento solar de agua que usan colectores solares de placa plana para capturar la energía del sol pueden clasificarse como sistemas directos o indirectos, por la forma en que transfieren el calor alrededor del sistema. Para calentar el agua con éxito y usarla tanto de día como de noche, se necesita tener un colector solar que capture el calor y lo transfiera al agua, adicionalmente se debe contar con un tanque para almacenar el agua caliente para su uso, según sea necesario. En el caso de un colector solar de aire el cual tiene el mismo principio de funcionamiento al del agua, la diferencia es que, en lugar de líquido, un ventilador eléctrico bombea aire a través del colector [12].

Un sistema de calentamiento solar de agua directo, también conocido como un sistema activo de circuito abierto, utiliza una bomba para hacer circular el agua alrededor del sistema. El agua más fría se bombea directamente desde la casa a un tanque central de almacenamiento o inmersión de

agua y pasa a través del colector solar para calefacción. El agua caliente abandona el colector de placa plana y regresa al tanque que fluye en un circuito continuo, desde allí, el agua se bombea de regreso a la casa como agua utilizable caliente [12].

En un sistema de agua caliente directa pasiva, el sistema no utiliza bombas o mecanismos de control para transferir el calor creado al tanque de almacenamiento. En su lugar, los sistemas pasivos son lo que se denominan "sistemas de circuito abierto" y utilizan la fuerza natural de la gravedad para ayudar a que el agua circule alrededor del sistema. Este tipo de sistema utiliza un colector de placa plana solar combinado con un tanque de almacenamiento montado horizontalmente de algún tipo ubicado justo encima del colector. El agua calentada por el sol se eleva naturalmente mediante la convección a través de las tuberías de los colectores solares y entra en el tanque de almacenamiento situado en la parte superior. Cuando el agua calentada ingresa al tanque de almacenamiento superior, el agua más fría es expulsada y fluye hacia el fondo de los colectores ayudados por la gravedad, ya que el agua fría es más densa que el agua caliente. Este ciclo de aumento de agua caliente y caída de agua más fría se conoce como "flujo de termosifón" y se repite continuamente mientras el sol brilla [12].

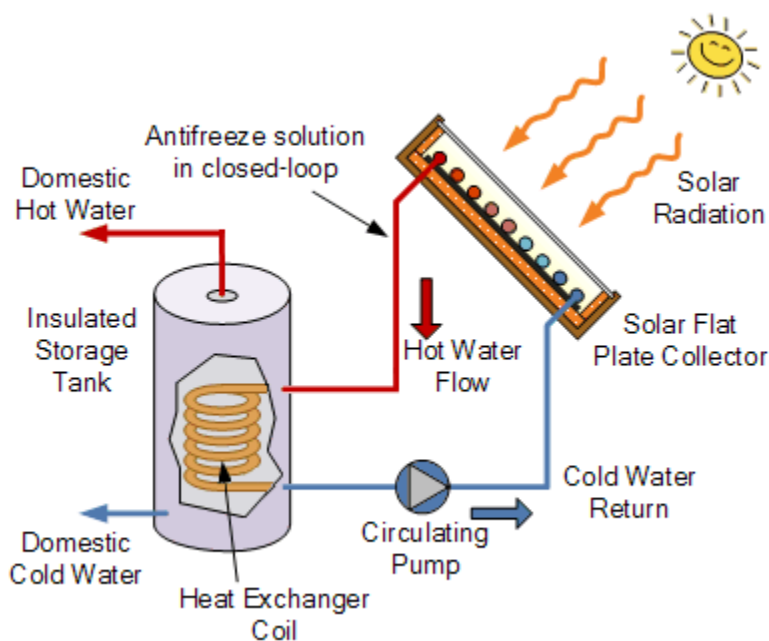
Figura 9. Sistemas de agua caliente por termosifón. Fuente (12)



El sistema de termosifón es el tipo más común de sistema de agua caliente en el mercado y la mayoría de los sistemas de agua caliente solar directa pasiva disponibles en el mercado utilizan este tipo de combinación de colector de placa plana y tanque de almacenamiento montada en el techo. Sin embargo, se debe tener cuidado al instalar este sistema ya que el peso del colector solar combinado con el del tanque de almacenamiento y el agua requiere a menudo modificaciones en

las estructuras del techo. El llamado sistema de termosifón remoto funciona según el mismo principio que el anterior sistema de termosifón directo pasivo, excepto que el tanque de almacenamiento está ubicado dentro del espacio del techo o vacío, lo que disipa el peso en un área más grande y también protege el tanque de almacenamiento del clima frío y las temperaturas. Sin embargo, para que el proceso de termosifón funcione correctamente, la base del tanque de almacenamiento de agua debe estar situada al menos de 0,3 a 0,5 m por encima de la parte superior de los colectores de placa plana, esta distancia también se conoce como los sistemas de "altura de la cabeza" [12].

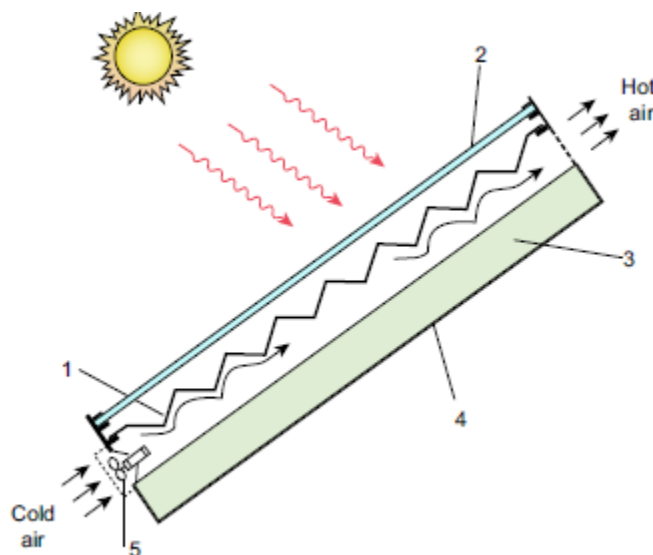
Figura 10. Sistemas de agua caliente indirecta. Fuente (12)



Los sistemas de agua caliente indirectos, también conocidos como sistemas de circuito cerrado, se diferencian del sistema anterior en que usan un intercambiador de calor que está separado del colector de placa plana solar para calentar el agua en el tanque de almacenamiento. Los sistemas de agua caliente indirectos son sistemas activos y requieren que las bombas circulen el líquido de transferencia de calor alrededor del sistema de circuito cerrado desde el colector al intercambiador de calor en el tanque. El sistema contiene una solución anticongelante, típicamente una mezcla de glicol / agua al 50%, en el circuito cerrado primario en lugar de solo agua que se calienta y se mantiene separada del suministro principal de agua caliente doméstica [12].

El intercambiador de calor transfiere el calor de la solución anticongelante del colector al agua ubicada en el tanque de almacenamiento. El intercambiador de calor puede ser una bobina de cobre dentro de la parte inferior del tanque de almacenamiento o un intercambiador de placa plana fuera del tanque de almacenamiento. Una de las principales ventajas de este sistema de calefacción indirecta de circuito cerrado es que la solución anticongelante proporciona un funcionamiento durante todo el año en áreas donde la temperatura desciende por debajo del punto de congelación, además de proteger el sistema de la corrosión de los colectores por el agua del grifo sin tratar que contiene gases y varias sales disueltas. También es probable que el sistema sea más eficiente y que el tanque de almacenamiento de agua caliente se pueda colocar en cualquier lugar de la casa porque no tiene que ser más alto que los colectores, como en el sistema anterior de sistema pasivo o de termosifón. Sin embargo, una desventaja es que el sistema de circuito cerrado depende de la electricidad de la bomba de circulación, que puede ser costosa o poco confiable. Algunos diseños utilizan una pequeña bomba de bajo voltaje y un panel fotovoltaico junto al colector, lo que hace que el sistema sea más eficiente y más ecológico. Para instalaciones más grandes y en climas más fríos, los tanques de agua caliente se incluyen debajo del techo dentro de los edificios, por lo que la circulación forzada por calentamiento solar de agua es la normal [12].

Figura 11. Esquema del colector solar de aire. Fuente (11)



Los colectores de aire de placa plana solares son muy utilizados en la aplicación de calefacción de espacios y secado de cultivos en modo forzado de operación. Para la calefacción de espacios,

el aire caliente se puede almacenar en una cama de roca para aplicaciones nocturnas, la energía eléctrica consumida en modo forzado se puede suplir integrando un módulo fotovoltaico en un panel colector de aire [14]. Existen muchos tipos de colectores solares de aire, pero el más simple es un calentador de aire solar de placa descubierta el cual consiste simplemente en un conducto de aire, cuya superficie superior actúa como la placa del absorbedor de calor solar con la superficie trasera aislada. Los colectores de placa descubierta son ampliamente utilizados en operaciones de secado de cultivos, tanto para sistemas de convección natural como forzada. En general, las pérdidas ópticas debido a la reducción de la transmisión de la radiación solar entrante mediante cubiertas transparentes en los colectores de energía solar son de aproximadamente el 10%. De este modo, la eficiencia alcanzable a temperaturas muy bajas (10 °C por encima de la temperatura ambiente) por los colectores de energía solar de placas cubiertas es un 10 % inferior a la de los colectores de placas descubiertas. Sin embargo, aunque pueden experimentar pérdidas ópticas mínimas, los colectores de energía solar a placa desnuda tienen grandes pérdidas térmicas a través de la superficie expuesta. En consecuencia, tienen una baja eficiencia térmica a temperaturas moderadamente elevadas, y por lo tanto sólo son adecuados para aplicaciones de secado a baja temperatura. Sin embargo, el bajo rendimiento de los colectores de placas descubiertas se ve compensado por su construcción sencilla y de bajo coste [9].

Las pérdidas de calor ascendentes de la mayoría de los calentadores solares de aire se minimizan mediante el uso de uno o más materiales de cubierta transparentes por encima y normalmente paralelos a la placa absorbente. Los materiales comunes de cubierta utilizados son el vidrio, las láminas de policarbonato de doble pared y el plástico transparente. El material de la cubierta evita las pérdidas de calor por convección de la placa absorbente y reduce las pérdidas de calor por radiación de onda larga. Por lo tanto, los materiales de cobertura adecuados deben ser razonablemente opacos a las radiaciones de onda larga. Los calentadores de aire solares cubiertos funcionan con mayor eficiencia que los calentadores de aire solares de placa descubierta a temperaturas moderadas, pero el costo de fabricación aumenta y, dado que los materiales de la cubierta son potencialmente vulnerables a la rotura, los costos de funcionamiento también aumentan marginalmente. Los calentadores de aire solares de placa cubierta generalmente se recomiendan para elevaciones de temperatura de 10 a 35 °C por encima del ambiente [9]. Los tipos de calentadores de aire solares de placa cubierta son:

- Calentadores solares de aire cubiertos de paso frontal: Aquí el aire a calentar pasa por el conducto entre el material de la cubierta y la placa absorbente (la parte posterior del que está aislado). La transferencia de calor a la corriente de aire es por lo tanto desde la parte delantera de la placa absorbente.
 - Calentadores solares de aire cubiertos de paso trasero: La placa absorbente se coloca aquí directamente detrás de la tapa transparente con una capa contenida que la separa de la tapa. El aire a calentar fluye entre la superficie interior de la placa del absorbedor y la capa de aislamiento con transferencia de calor a través de la parte posterior del absorbedor. Los calentadores de aire solares de paso trasero han sido generalmente encontrados más eficientes que los de paso frontal.
 - Calentadores de Aire Solares Cubiertos con Placa Suspendida: La placa absorbente se fija aquí entre el material de cubierta y la capa de aislamiento. El aire a calentar fluye por ambos lados de la placa absorbente, aumentando así la superficie de transferencia de calor. De este modo, la placa absorbente se encuentra a una temperatura más baja y, en consecuencia, irradia menos calor. Las dos configuraciones diferentes del calentador de aire de placa suspendida son los calentadores de aire solares de paso paralelo y los calentadores de aire solares de paso doble mostrados. Los calentadores de aire solares de placa suspendida funcionan con mayor eficiencia que los calentadores de aire solares de paso frontal o trasero.
 - Calentadores solares de aire Matrix: Esta es una forma modificada del colector de placas suspendidas, con un absorbedor poroso de alta superficie entre el aire y el absorbedor
 - Los colectores solares que calientan el aire arrastran la transferencia de calor por convección a través de perforaciones en la placa base del absorbedor. El rendimiento de los colectores solares de calefacción por aire transpirado depende de la tecnología.
-
- Material absorbente
 - Tamaño y espaciado de la perforación
 - Caudal de aire con mejora de la eficiencia a caudales más altos
 - Profundidad del canal de aire
 - Velocidad del viento predominante
 - Insolación

- Para aplicaciones que requieren elevaciones de temperatura de 40 °C por encima de la temperatura ambiente, los calentadores solares de aire con un solo vidrio son adecuados. Para aumentos de temperatura más altos, la reducción de las pérdidas de calor de la placa absorbente se hace necesaria mediante el uso de acristalamientos adicionales

Si bien este tipo de sistemas de agua y aire caliente solar son baratos y fáciles de instalar, el problema con este tipo de colectores es que son "planos". Esto produce una limitación a su eficiencia, ya que solo pueden operar con la máxima eficiencia cuando el sol está directamente arriba del mediodía. En otros momentos, los rayos del sol golpean al colector en ángulos variables rebotando en el material de acristalamiento, lo que reduce su eficiencia [9].

1.2.1.2 COLECTOR SOLAR DE TUBO EVACUADO

Los distintos sistemas de colectores de tubo de vacío se basan en los tubos evacuados, en los cuales el aire se elimina o se evacua del espacio entre los dos tubos, formando un vacío (de ahí el nombre de tubos evacuados). Estos están conformados por dos tubos concéntricos los cuales están sellados en uno de los extremos haciendo así que el vacío quede dentro [17]. El área de un tubo es pequeña; por lo tanto, para aumentar el área de recolección de calor se conectan muchos tubos al mismo colector (normalmente se utilizan de 10 hasta 20 tubos). Al igual que los colectores de placa plana, recogen tanto la radiación directa como la difusa; sin embargo, su eficiencia es mayor en los ángulos de baja incidencia, lo que da una ventaja en cuanto a rendimiento durante todo el día [15]. Estos tubos de vidrio son de forma cilíndrica. Por lo tanto, el ángulo de la luz solar es siempre perpendicular a los tubos que absorben el calor, lo que permite que estos colectores funcionen bien incluso cuando la luz solar es baja, como cuando es temprano en la mañana o al final de la tarde, o cuando está sombreado por las nubes. Los colectores de tubos evacuados son particularmente útiles en áreas con climas invernales fríos y nublados [16].

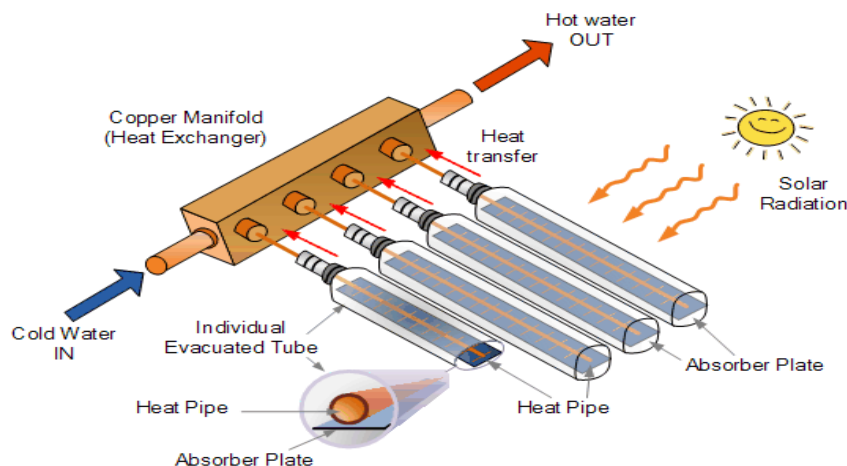
Los colectores de tubos de evacuación están formados por una o varias filas de tubos de vidrio transparentes paralelos apoyados en un marco. Cada tubo individual varía en diámetro entre 0,025 m a 0,075 m y entre 1,5 m a 2,4 m de longitud, según el fabricante. Cada tubo consta de un

tubo exterior de vidrio grueso y un tubo interno de vidrio más delgado (llamado “tubo de vidrio doble”) o un “tubo termo-termo” que está cubierto con un recubrimiento especial que absorbe la energía solar, pero inhibe la pérdida de calor. Los tubos están hechos de borosilicato o vidrio de cal sodada, que es fuerte, resistente a altas temperaturas y tiene una alta transmisión para la radiación solar [16].

La mejora que aporta el vacío en los colectores solares consiste en evitar las pérdidas por conducción y convección ya que la transmisión de calor por conducción y convección necesita de alguna materia para poder transmitirse. Por ello con la colocación del absorbedor en el interior de un tubo en el que se ha hecho el vacío evita las pérdidas por estos métodos sólo perdiéndose el calor por radiación (que se puede transmitir en el vacío), lo que hace que el colector sea mucho más eficiente ya que habrá más calor disponible para calentar el fluido con la misma cantidad de energía del sol [17]. Este vacío en los colectores de tubos evacuados generalmente hace que se produzcan temperaturas de fluido superiores a los 80 °C, esto gracias a la reducción del coeficiente de pérdida de calor [16]. Esta reducción puede lograrse principalmente por dos métodos: evacuación y concentración, ya sea individualmente o en combinación. Hay muchos diseños posibles, y bastantes fabricantes ofrecen colectores tubulares de vacío. Todos ellos utilizan el método selectivo como absorbedor porque con un absorbedor no selectivo, las pérdidas de radiación dominarían las altas temperaturas, y eliminaría la convección por sí sola lo cual no sería muy efectivo [10].

Algunos colectores emplean un sistema denominado CPC (Colector Parabólico Concéntrico) para aprovechar la radiación solar que incide entre dos tubos. Este sistema consiste en una serie de reflectores que dirigen la luz que cae entre tubo y tubo hacia la parte trasera de los mismos donde es también aprovechada. Con ello los colectores reciben luz tanto de la parte delantera como de la trasera. Con el sistema CPC se amplía la superficie efectiva de captación por metro cuadrado para la tecnología de tubo de vacío factor que sin embargo siempre estará por debajo de los colectores de placa plana (por metro cuadrado se capta menos, pero se hace un uso más eficiente de lo captado) [17]. Existen diferentes tecnologías y tipos de colectores solares de tubo evacuado, a continuación, se describen cada uno de ellos:

Figura 12. Colector de tubo evacuado simple. Fuente (16)



Los colectores de tubo evacuado simple son únicamente utilizados en calentadores solares termosifónicos. Son tubos evacuados ensamblados directamente con el depósito acumulador y que por lo tanto contienen agua. En la pared interior del tubo evacuado se sitúa una capa de color oscuro de material absorbente. Cuando la radiación solar incide sobre la capa de material absorbente se transforma en calor y eleva la temperatura del agua. El agua calentada se eleva por convección y comienza a ascender siendo reemplazada por agua fría que a su vez se calienta y reinicia el proceso [17].

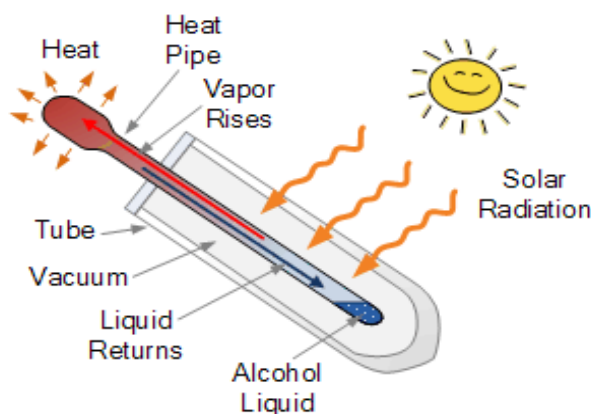
El colector de tubos de vacío simple (ETC) suele emplear una aleta con un tubo como en los colectores de placa plana, dentro de cada tubo de vidrio, una aleta de aluminio o cobre plana o curva está unida a un tubo de calor metálico que atraviesa el tubo interior. La aleta está cubierta con un recubrimiento selectivo que transfiere calor al fluido que circula a través de la tubería. Esta tubería de calor de cobre sellada transfiere el calor solar mediante la convección de su fluido de transferencia de calor interno a una "bombilla caliente" que calienta indirectamente un colector de cobre dentro del tanque colector. Todos estos tubos de cobre están conectados a un colector común que luego se conecta a un tanque de almacenamiento, calentando así el agua caliente durante el día. El agua caliente se puede usar por la noche o al día siguiente debido a las propiedades de aislamiento del tanque [16].

Las propiedades de aislamiento del vacío son tan buenas que, si bien el tubo interno puede alcanzar los 150°C , el tubo exterior es más frío al tacto. Esto significa que los calentadores de agua con tubos de vacío pueden funcionar bien y pueden calentar el agua a temperaturas bastante

altas incluso en climas fríos, sin embargo, el inconveniente es que pueden ser mucho más caros en comparación con los colectores de placa plana estándar. Para estos tipos de colectores solares, lo que realmente importa es la configuración del tubo de vacío. Existen algunas configuraciones diferentes de tubos de vacío, tubos de pared simple, tubos de doble pared, tuberías de flujo directo o de calor, y estas diferencias pueden determinar cómo circula el fluido alrededor del colector de agua caliente solar [16]. Todas estas configuraciones de colectores tubulares de vacío están herméticamente selladas y contienen getters, para absorber cualquier molécula que se derrame en el vacío. En los tubos sellados al vacío se tiene una vida útil libre de mantenimiento del orden de 20 años, lo cual se ha comprobado en la experiencia con tubos de vacío para radio y televisión [10].

En la actualidad, el tubo de vacío de vidrio se ha convertido en el componente clave en la utilización de la energía solar térmica, y han demostrado ser muy útiles especialmente en aplicaciones residenciales para temperaturas más altas. Por lo tanto, los ETC se utilizan ampliamente para suministrar calefacción, incluidos los colectores solares evacuados por tubos de calor y los ETC de vidrio con tubo en U [11].

Figura 13. Colector solar de tubos de evacuación de calor o heat pipe. Fuente (16)



Los colectores de tubos de evacuación de tubos de calor utilizan el cambio de fase del evaporador líquido para transferir calor con una alta eficiencia. El tubo es un tubo de cobre sellado al vacío (para aumentar la eficiencia de los colectores en temperaturas frías), el cual se une a una aleta de cobre negro que llena el tubo y así forma la placa absorbente del colector. El tubo de calor de cobre hueco dentro del tubo termina en una punta metálica, que se fija a la tubería sellada y actúa

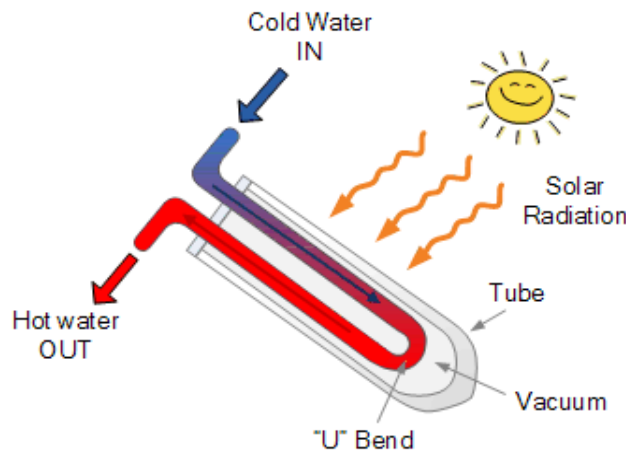
como condensador. El tubo de calor contiene una pequeña cantidad de fluido volátil (generalmente metanol o etanol) que sufre, siempre y cuando haya sol, un ciclo de evaporación secundaria, es decir, el calor solar evapora el líquido y, debido a la menor densidad, el vapor sube a la región del dissipador de calor donde se condensa y libera su calor latente a un fluido que fluye. El vacío es el que permite que el líquido se evapore a temperaturas muy bajas de lo que normalmente lo haría a la presión atmosférica, el líquido en la tubería de calor se convierte rápidamente en un gas de tipo vapor caliente debido a la presencia del vacío [15].

La parte superior de la tubería de calor, y por lo tanto el tubo evacuado, está conectado a un intercambiador de calor de cobre llamado el "colector". Cuando los vapores calientes aún dentro del tubo de calor sellado ingresan al colector, la energía térmica del vapor se transfiere al agua o al fluido de glicol que fluye a través del colector de conexión. A medida que el vapor caliente pierde energía y se enfría, se condensa regresando al colector solar debido a la gravedad y el proceso se repite siempre y cuando haya calor solar para evaporar el fluido de vuelta. Por lo general, el agua, o la mezcla de agua y glicol que fluye a través del colector recoge el calor de la condensación del vapor. Los colectores de tubos evacuados de tubos de calor deben montarse de manera que tengan un ángulo de inclinación mínimo (alrededor de 30°) para que el líquido interno del tubo de calor regrese a la placa de absorción en la parte inferior del tubo. Este proceso de convertir un líquido en un gas y nuevamente en un líquido continúa dentro del tubo de calor sellado mientras el sol brilla [16].

Una de las mayores ventajas, que es una característica única del colector de tubo de calor evacuado, es que al no ser posible la evaporación o condensación por encima de la temperatura de cambio de fase, el tubo de calor ofrece una protección inherente contra la congelación y el sobrecalentamiento [15]. Otra ventaja es que existe una conexión "seca" entre la placa de absorción y el colector, lo que hace que la instalación sea mucho más fácil que con los colectores de flujo directo. Además, en el caso de que un tubo de vacío se rompa y el vacío se pierda, el tubo individual se puede cambiar sin vaciar ni desmontar todo el sistema. Esta flexibilidad hace que los colectores de agua caliente solares de tubos de evacuación de tubos de calor sean ideales para diseños solares de circuito cerrado, ya que el ensamblaje modular permite una instalación fácil y la capacidad de expandirse fácilmente agregando tantos tubos como desee [16].

Dado que los tubos también pueden girar sobre su eje, existe la posibilidad de que adopten posiciones verticales y horizontales al igual que ocurre en los sistemas de flujo directo, aunque en este caso generalmente habrá que respetar una inclinación mínima del tubo (entre 15° y 20° según el fabricante) para permitir que el fluido, una vez licuado, pueda descender por gravedad [17].

Figura 14. Colector solar de tubos de evacuación de flujo directo o u-pipe. Fuente (16)



Los colectores de tubos de vacío de flujo directo, también conocidos como colectores de tubos en "U", son diferentes de los anteriores en que tienen dos tubos de calor que pasan por el centro del tubo. Una tubería actúa como la tubería de flujo, mientras que la otra actúa como la tubería de retorno. Ambas tuberías están conectadas entre sí en la parte inferior del tubo con una "curva en U", de ahí el nombre. La placa reflectante de absorción de calor actúa como una tira divisoria que separa el flujo y los tubos de retorno a través de los tubos del colector solar. La placa de absorción y el tubo de transferencia de calor también están sellados al vacío dentro de un tubo de vidrio, lo que brinda propiedades de aislamiento excepcionales [16].

Las tuberías de calor huecas y la placa reflectora plana o curva están hechas de cobre con un recubrimiento selectivo para aumentar la eficiencia general de los colectores. Esta configuración particular del tubo de vacío es similar en funcionamiento a los colectores de placa plana, con la excepción del vacío proporcionado por el tubo exterior. Debido a que el fluido de transferencia de calor fluye dentro y fuera de cada tubo, los colectores de tubos evacuados de flujo directo no son tan flexibles como los tipos de tubos de calor. Si un tubo se rompe, no puede ser reemplazado fácilmente. El sistema requerirá drenaje ya que hay una conexión "húmeda" entre el tubo y el colector [16].

Muchos profesionales de la industria solar creen que los diseños de tubos evacuados de flujo directo son más eficientes energéticamente que los diseños de tuberías de calor, porque con el flujo directo no hay intercambio de calor entre los fluidos. Además, en una construcción de flujo directo totalmente de vidrio, los dos tubos de calor se colocan uno dentro del otro para que el fluido que se está calentando pase por la mitad del tubo interno y luego vuelva a subir a través del tubo absorbente externo. Los tubos evacuados de flujo directo pueden recoger tanto radiación directa como difusa y no requieren seguimiento solar. Sin embargo, algunas formas de reflector colocadas detrás de los tubos a veces se usan para recolectar útilmente parte de la energía solar, que de lo contrario podría perderse, proporcionando así una pequeña cantidad de concentración solar [16].

Algunos colectores con esta tecnología aplican el sistema CPC alterando la forma del absorbedor que adopta una forma semicilíndrica para poder captar la energía solar de la forma más eficiente posible por la parte trasera. Los colectores de tubo de vacío de flujo directo tienen la ventaja de poder adoptar una posición tanto horizontal como vertical sin mermar su rendimiento ya que el tubo puede rotar sobre su eje inclinándose el absorbedor de la manera más adecuada. Otra ventaja es ser utilizable en áreas frías ya que permite usar las estrategias contra la congelación de uso general en la energía solar térmica [17].

2.2.3 COLECTORES DE CONCENTRACIÓN

Las primeras utilizaciones de los colectores solares de concentración se pierden en la lejanía de los tiempos. No obstante, por algunas tablillas de arcilla halladas en Mesopotamia, se sabe que hacia el año 2000 A.C. las sacerdotisas encendían el fuego sagrado de los altares mediante espejos curvados de oro pulido. Existieron muchas civilizaciones y científicos que experimentaron con esta tecnología, pero una de las historias más escuchada es la de Arquímedes quien utilizó espejos cóncavos, con los cuales incendió las naves romanas durante el renacimiento, esta historia ha inquietado a centenares de científicos entre ellos el Dr. Ioannis Sakkas de origen griego quien en el año 1973, curioso acerca de si Arquímedes podría haber realmente destruido la flota romana en el año 212 A.C, alineó cerca de 60 marinos griegos, cada uno sosteniendo un espejo oblongo inclinado para capturar los rayos del sol e hizo que los dirigieran hacia una silueta de madera cubierta con alquitrán a una distancia de 49 metros. Las

estructuras se incendiaron después de unos pocos minutos; sin embargo, los historiadores continúan dudando de esta historia acerca de Arquímedes [18].

En 1866, Augustin Mouchot usó un cilindro parabólico para producir vapor en el primer motor de vapor solar. La primera patente para un colector solar fue obtenida por el italiano Alessandro Battaglia en Génova, Italia, en el año 1886. En los siguientes años, inventores tales como John Ericsson y Frank Shuman desarrollaron dispositivos energizados por electricidad solar de concentración para irrigación, refrigeración y locomoción. En el año 1913 Shuman finalizó una central de energía solar térmica de 55 HP en Maadi, Egipto para ser usada en irrigación. El primer sistema de energía solar que usó un espejo en forma de disco fue construido por Dr. R.H. Goddard, quien ya era bien conocido por su investigación en cohetes de combustible líquido y escribió un artículo en el año 1929 en el que él afirmaba que todos los obstáculos previos habían sido resueltos [18].

El profesor Giovanni de Francia diseñó y construyó la primera central solar de concentración, la que entró en operación en Sant'Ilario, cerca de Génova, Italia en el año 1968. Esta central tenía la misma arquitectura de las actuales centrales solares de concentración con un receptor solar en el centro de un campo de colectores solares. La central fue capaz de producir 1 MW con vapor súper calentado a 100 bar y 500 grados Celsius [18].

En el transcurso del tiempo se han ido estudiando más a fondo este tipo de sistemas lo cual ha logrado una mejora continua, pero sin cambio sustancial ya que básicamente todos tienen el mismo principio, ya que cuentan con un receptor en el cual la radiación es absorbida y convertida en otra forma de energía, un concentrador, que es el sistema óptico que dirige la radiación del haz hacia el receptor. Los colectores de concentración proporcionan energía a temperaturas más altas que las de los colectores de placa plana y tubo evacuado puesto que redirigen la radiación solar que pasa a través de una abertura hacia un absorbedor y normalmente requieren el seguimiento del Sol. En los colectores de concentración, la energía solar se concentra ópticamente antes de ser transferida. La concentración puede obtenerse por reflexión o refracción de la radiación solar mediante el uso de espejos o lentes [11].

Los colectores de concentración también se pueden clasificar en no-imagen e imagen dependiendo de si la imagen del Sol está enfocada en el receptor o no. El concentrador que pertenece a la primera categoría es el colector parabólico compuesto (CPC), mientras que todos

los demás tipos de concentradores pertenecen al tipo de imagen. Los colectores de concentración de imagen son:

- colector cilindro-parabólico (PTC)
- reflector lineal de Fresnel (LFR)
- reflector de disco parabólico (PDR).

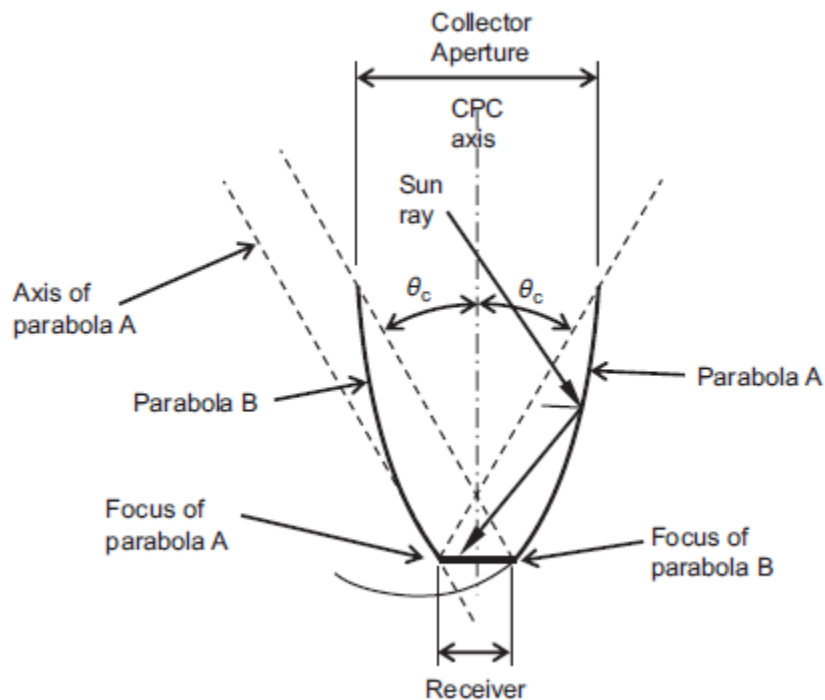
Los concentradores que no son de imagen, como su nombre lo indica, no producen imágenes claramente definidas del sol en el absorbedor, sino que más bien distribuyen la radiación de todas las partes del disco solar a todas las partes del absorbedor. Las relaciones de concentración de los colectores lineales sin imagen se encuentran en el rango bajo y generalmente por debajo de 10. Los concentradores de imágenes, por el contrario, son análogos a los objetivos de las cámaras en el sentido de que forman imágenes (normalmente de muy baja calidad según los estándares ópticos ordinarios) en el absorbedor [11].

En general, los concentradores con receptores mucho más pequeños que las aberturas son efectivos sólo en la radiación del haz. Es evidente también que el ángulo de incidencia de la radiación del haz en el concentrador es importante y que el seguimiento del Sol será necesario para estos colectores. Una variedad de mecanismos de orientación ha sido diseñada para mover los colectores de enfoque de modo que la radiación directa incidente se refleje en el receptor. Los movimientos requeridos para lograr el rastreo varían con el diseño del sistema óptico, y un movimiento particular resultante puede ser logrado por más de un sistema de movimientos de componentes [11].

Los concentradores de no-imagen tienen la capacidad de reflejar al receptor toda la radiación incidente en la apertura sobre rangos de ángulos de incidencia dentro de límites amplios. Los límites definen el ángulo de aceptación del concentrador. Como toda la radiación incidente dentro del ángulo de aceptación se refleja al receptor, la radiación difusa dentro de estos ángulos también es una entrada útil para el colector. Estos concentradores son potencialmente más útiles como concentradores lineales o de tipo cilíndrico [11].

1.2.2.1 COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO

Figura 15. Colector parabólico compuesto de Winston. Fuente (15)



El concepto básico del CPC es una parábola, estos concentradores son potencialmente más útiles como concentradores lineales o de tipo cilíndrico. Cada parábola se extiende hasta que su superficie es paralela al eje CPC. El ángulo entre el eje del CPC y la línea que conecta el foco de una de las parábolas con el borde opuesto de la apertura es el medio ángulo de aceptación θ_c . Si el reflector es perfecto, cualquier radiación que entre en la abertura entre $\pm \theta_c$ será reflejada a un receptor en la base del concentrador reflejando de forma especular los reflectores parabólicos. Se trata de un concentrador lineal bidimensional formado por dos parábolas, A y B, cuyos ejes están inclinados en el ángulo de semiapertura del colector θ_c a ambos lados del eje óptico del colector. El colector θ_c se define como el ángulo a través del cual una fuente de luz puede moverse desde el eje normal al eje del colector y aun así converger en el absorbedor. Los CPC tienen un ángulo de aceptación constante en toda la zona de apertura [15].

Los colectores parabólicos compuestos CPC pertenecen a la categoría de concentradores sin imagen ya que no forman una imagen del sol en el absorbedor. Estos son capaces de reflejar al absorbedor toda la radiación incidente y son un descubrimiento sorprendentemente reciente. El

primer ejemplo de CPC, fue encontrado casi al mismo tiempo, en los Estados Unidos por Hinterberger y Winston en 1966, en Alemania por Ploke el mismo año, y en la URSS por Baranov y Melnikov igualmente en 1966. El CPC Consiste en reflectores parabólicos que canalizan la radiación desde la abertura hasta el absorbedor. Las mitades derecha e izquierda pertenecen a diferentes parábolas, que es lo que se desea expresar con el nombre de CPC. El eje de la parábola derecha (izquierda) forma un ángulo $\pm\theta_c$ con el plano medio del colector, y su foco está en A (B). El trazado de algunos rayos de muestra revela que este dispositivo tiene la siguiente característica de aceptación angular: todos los rayos que inciden en la abertura dentro del ángulo de aceptación, es decir, con $|\theta| < \theta_c$, llegarán al absorbedor, mientras que todos los rayos con $|\theta| > \theta_c$ rebotarán de un lado a otro entre los lados del reflector y, finalmente, volverán a emerger a través de la abertura. Esta propiedad, trazada esquemáticamente por la línea del sólido, implica que la concentración es igual al límite termodinámico [10].

Después del descubrimiento del CPC básico, se han descrito varias generalizaciones del concentrador ideal que son relevantes para aplicaciones especiales. Estas generalizaciones son las siguientes:

- El uso de formas arbitrarias del receptor, como por ejemplo aletas y tubos los cuales son importantes debido a su capacidad para transportar un fluido de transferencia de calor; estas fueron descritas por Winston y Hinterberger en 1975 y Rabl en 1976.
- La restricción de los ángulos de salida θ_{out} , esta es importante porque algunos receptores tienen una absorción deficiente en grandes ángulos de incidencia. También es necesario para el diseño de los CPC que funcionan enteramente por reflexión interna total [Winston, 1976].
- La orientación asimétrica de la fuente y la abertura (para el diseño de colectores con rendimientos estacionalmente variables [Rabl, 1976a; Mills, 1978]).
- La correspondencia de un CPC con una fuente de radiación finita (útil como concentradores de segunda etapa para recoger la radiación de una primera etapa que se encuentra a una distancia finita [10]).

El absorbedor puede tener una variedad de configuraciones ya que puede ser plano, bifacial, en cuña o cilíndrico. Se han diseñado dos tipos básicos de colectores CPC: simétricos y asimétricos.

Los CPC simétricos suelen emplear dos tipos principales de absorbedores: el tipo de aleta con tubo y los absorbedores tubulares. El tipo de aleta puede ser plana, bifacial o de cuña también puede ser de un solo canal o multicanal. Los CPC deben tener un espacio entre el receptor y el reflector para evitar que el reflector actúe como una aleta conductora de calor lejos del absorbedor. Debido a que la separación provoca una pérdida de área del reflector y la correspondiente pérdida de rendimiento, se debe mantener pequeña. Esto es más importante para los receptores planos [19].

En cuanto a los diferentes tipos de CPC, las configuraciones con absorbedores de aletas o tubos, son preferibles para la mayoría de las aplicaciones solares. No sólo se utiliza el material absorbente de forma más eficiente que en otros diseños, sino que las pérdidas de calor a través de la espalda son bajas [10]. Para aplicaciones de temperaturas más altas se puede utilizar un CPC de seguimiento. Cuando se utiliza el seguimiento, éste es muy áspero o intermitente, ya que la relación de concentración suele ser pequeña y la radiación puede ser recogida y concentrada por una o más reflexiones en las superficies parabólicas. Los CPC pueden fabricarse como una unidad con una abertura y un receptor o como un panel. Cuando se construye como un panel, el colector se parece a uno de placa plana [19].

Otra categoría de colectores CPC es el tipo asimétrico. Esto se puede combinar con una configuración de placa absorbente inversa o invertida. Después de las investigaciones iniciales sobre este tipo de sistema presentadas por Kienzlen en 1988, en estas configuraciones la radiación es dirigida en la parte inferior de la placa por un concentrador estacionario de la forma CPC. De esta manera, las pérdidas de calor del absorbedor se reducen significativamente porque la parte superior de la placa está bien aislada y las pérdidas convectivas se reducen porque la propia placa bloquea la corriente convectiva. Otra configuración es el diseño inclinado de un colector plano que, en comparación con un colector plano, tienen una menor eficiencia óptica debido a las pérdidas por dispersión en el reflector, pero una mejor eficiencia a temperaturas más altas [19].

Una variación de esta configuración es el colector de placa plana de doble cara tipo CPC investigado por Goetzberger en 1992 y Tripanagnostopoulos en el 2000. Estos también son llamados colectores solares bifaciales de placa plana porque el absorbedor es irradiado a ambos

lados del absorbedor. En el diseño presentado por Goetzberger el absorbedor está "aislado" en todos los lados con un aislamiento transparente, mientras que en el diseño presentado por Tripanagnostopoulos se utilizó un simple acristalamiento en una unidad de absorción de espejos CPC o en tres unidades de absorción de espejos CPC [19]. Este tipo de colectores ópticos tienen muchas aplicaciones más allá de la energía solar, son útiles dondequiera que se quiera redistribuir la radiación de una manera particular. El reflector de un tubo de flash fotográfico es un ejemplo ya que el tubo se utiliza para distribuir la luz [10].

1.2.2.2 COLECTOR LINEAL DE FRESNEL

El nombre de los colectores lineales Fresnel deriva de Augustin Jean Fresnel, quien desarrolló los lentes de refracción que tienen la misma distancia focal que los lentes estándar, pero usan sólo una parte del material. Los colectores Fresnel funcionan de manera similar, usando el principio de segmentar el aparato óptico, pero aplicando este mismo principio a un espejo reflector parabólico en vez de un lente refractivo [20].

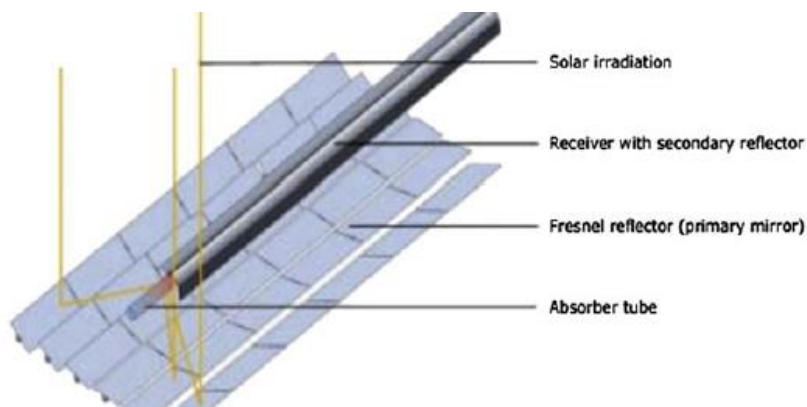
Un primer prototipo de un colector lineal Fresnel está documentado del investigador italiano Giovanni Francia en 1964. Francia describió temperaturas de hasta 450°C y la generación directa de vapor. Algunas pocas instalaciones piloto de otros grupos siguieron en otros lugares del mundo, pero no se sabe de ninguna instalación que haya operado por un tiempo más largo [20].

Los colectores lineales de Fresnel son un subgrupo de colectores de concentración lineal. Utilizan receptores lineales y reflectores, que se segmentan en heliostatos de seguimiento de un solo eje. Los segmentos del reflector están típicamente alineados horizontalmente y rastrean el sol de tal manera que el receptor se ilumina sin necesidad de moverse [20].

El colector lineal Fresnel utiliza segmentos largos de espejos, situados en el eje focal de las diferentes filas, para concentrar la luz solar en un absorbedor fijo situado en un punto focal común de los reflectores. El absorbedor fijo incluye uno o varios tubos absorbedores. Un concentrador secundario se utiliza para reflejar los rayos dentro de un ángulo aceptable. Esta energía concentrada se transfiere al agua a través de un absorbedor. Entonces, por medio de un

intercambiador de calor, la energía se extrae y utiliza para generar energía u otras aplicaciones comerciales [21].

Figura 16. Esquema de un Colector Fresnel con reflectores secundarios. Fuente (21)



El colector LFR puede ser imaginado como un reflector de canal parabólico, pero a diferencia de los canales parabólicos, las tiras individuales no necesitan ser de forma parabólica. Las tiras también se pueden montar en suelo plano (campo) y la luz concentrada en un receptor fijo lineal montado en una torre [19]. Los colectores Fresnel tienen dos variaciones: el colector de lente Fresnel (FLC), y el reflector lineal Fresnel (LFR).

Figura 17. Colector de lente Fresnel. Fuente:

<https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/772/1/17422.pdf>

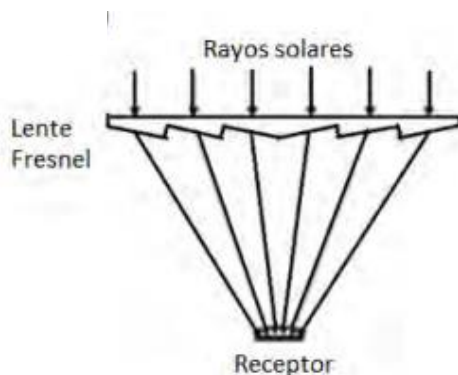
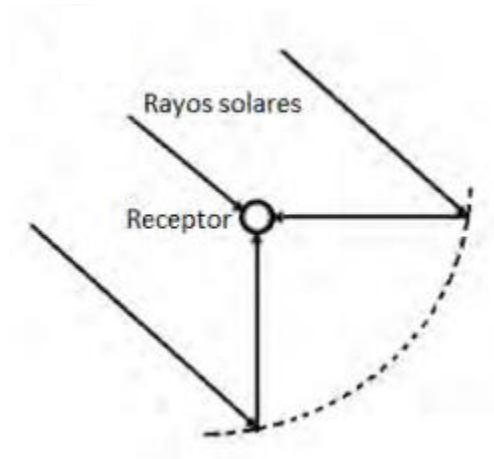


Figura 18. Reflector lineal Fresnel. Fuente:

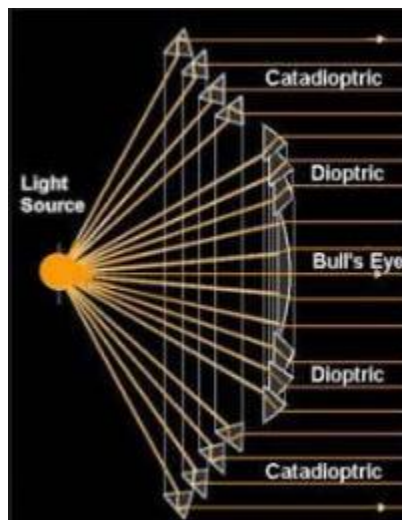
<https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/772/1/17422.pdf>



El colector de lente Fresnel está hecho de un material plástico y moldeado de la manera que se ha demostrado que enfoca los rayos solares a un receptor puntual, mientras que el segundo, el reflector lineal Fresnel se basa en una formación de tiras de espejos lineales que concentran la luz en un receptor lineal [19].

Figura 19 Lentes Fresnel. Fuente:

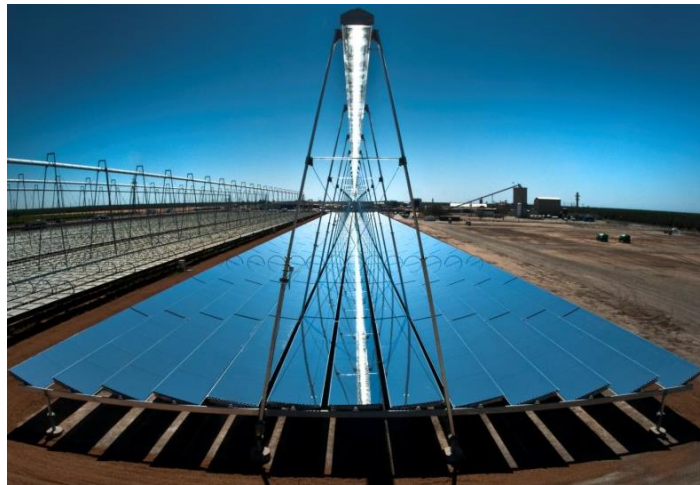
<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/fresnel/fresnel.htm>



El funcionamiento de un lente Fresnel es una reducción en la superficie esférica de una lente convexa, es compensada con cortes en anillos circulares concéntricos, cada corte posee una

inclinación singular lo que le da un carácter más de prisma que de un lente convexo, sin embargo, su potencia no se reduce. Los rayos de luz al atravesar el lente salen de manera paralela y llegan de la misma manera al eje óptico concentrándose en un solo punto [22].

Figura 20. Reflector lineal Fresnel. Fuente: <http://newenergyupdate.com/csp-es/el-crecimiento-de-la-energia-solar-en-india-liderado-por-la-fv-pone-la-mirada-en-los>



Para el reflector lineal se aplica el mismo principio, pero con la singularidad que los cortes circulares concéntricos son reemplazados por espejos de vidrios planos lineales ubicados de forma paralela consecutiva y de igual manera con una diferente inclinación individual formando una pequeña parábola entre las superficies refractantes; esto al igual que en el lente Fresnel logra concentrar la luz en un punto focal pero como utilizamos espejos lineales el punto focal se extiende y forma una “línea” de concentración de luz, y es en esta línea de concentración donde se instalan tubos de absorción por donde pasa agua que posteriormente se calienta, se evapora y pasa por una turbina de vapor generando así electricidad. Se registran temperaturas cercanas a los 500°C [22].

El diseño de los colectores lineales tiene por objeto cosechar la mayor cantidad de energía posible. Es un procedimiento de optimización que incluye el sistema de seguimiento (los colectores siguen el movimiento del sol), la geometría de los reflectores y el receptor [20].

La idea básica detrás del diseño de los reflectores Fresnel consiste en segmentar un reflector parabólico, alinear las piezas horizontalmente y permitir que cada uno siga el sol

individualmente. Mientras que la posición del sol en el cielo cambia durante el día, el absorbedor queda fijo, girando los espejos primarios lentamente en un eje para reflejar la luz solar directa en el absorbedor en cada momento [20].

A diferencia de lo que ocurre en los colectores parabólicos, en este caso el ángulo entre el sol, el espejo y el absorbedor cambia constantemente. Por lo tanto, el control de seguimiento se realiza de circuito abierto, usando un algoritmo astronómico de la posición solar para calcular los ángulos de consigna de los espejos en cada momento [20].

Los colectores Fresnel tienen varias ventajas, en comparación a otras tecnologías. Los beneficios resultan de los costos de producción menores, cargas inferiores de viento, una limpieza más fácil y menor estrés termal, y compensan el hecho que el rendimiento por m^2 no es tan alto como, por ejemplo, en los colectores parabólicos CSP [20].

1.2.2.3 COLECTOR SOLAR CILINDRO-PARABÓLICO

Figura 21. Colector Cilindro Parabólico. Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com>



La primera experiencia práctica con el PTC se remonta a 1870, cuando el ingeniero, John Ericsson, inmigrante sueco en los Estados Unidos, diseñó y construyó un colector de apertura de $3,25 \text{ m}^2$ y producía vapor saturado para una pequeña máquina de vapor de 373 W . En 1883, él mejoró el diseño original mediante reflectores de chapa pulida con la instalación de tiras metálicas de reflectores de vidrio plateado, en un marco que proporciona la forma parabólica con una apertura de $3,35 \times 4,9 \text{ m}$ [11].

El reflector parabólico es un colector de energía solar térmica diseñado para captar la radiación solar directa del sol en una gran área de superficie y foco, o más generalmente "concentrarla" en un área de punto focal pequeño, lo que aumenta la energía solar recibida en más de un factor de dos lo que significa más calor total por metro cuadrado de canal [23].

La forma de los colectores solares de concentración debe diseñarse específicamente para que toda la luz solar entrante se refleje en la superficie del colector y llegue al mismo punto focal, sin importar a qué parte del colector la luz solar incida primero [23].

Los colectores solares concentrados para aplicaciones residenciales son generalmente un canal parabólico "en forma de U" (de ahí su nombre) que concentra la energía del sol en un tubo de calor absorbente llamado receptor que se coloca a lo largo del eje del punto focal del canal reflectante [23].

Los colectores cilindro-parabólicos se fabrican doblando una lámina de material reflectante o altamente pulido en una forma parabólica llamada parábola. Como las ondas de luz solar viajan esencialmente paralelas entre sí, este tipo de colector solar puede apuntarse directamente hacia el sol y aun así lograr una salida focal total de todas las partes del reflector en forma de canal [23].

El colector está conformado por un tubo de metal negro, cubierto con un tubo de vidrio para reducir las pérdidas de calor, se coloca a lo largo de la línea focal del receptor. Cuando la parábola está apuntando hacia el sol, los rayos paralelos inciden sobre el reflector que se refleja en el tubo receptor. La radiación concentrada que llega al tubo receptor calienta el fluido que circula por él, transformando la radiación solar en calor útil. Basta el seguimiento del sol de un solo eje; por lo tanto, se producen módulos colectores largos [19].

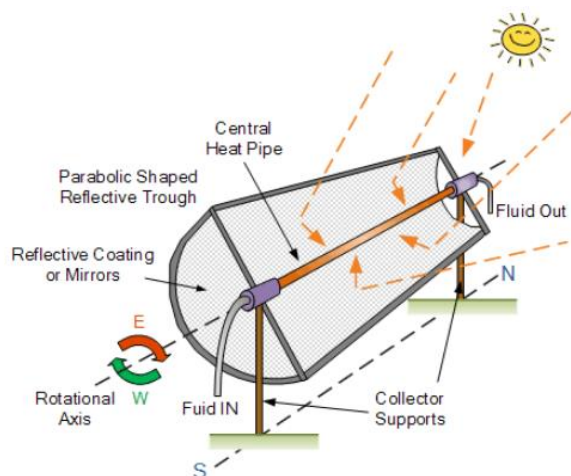
El típico tubo receptor PTC está compuesto por dos tubos concéntricos, un tubo interior de acero que contiene el fluido de trabajo y un tubo exterior de vidrio que rodea el tubo de acero. El tubo de vidrio está hecho de borosilicato de bajo contenido en hierro para aumentar su transmitancia a la radiación solar. La superficie exterior del tubo de acero tiene una superficie ópticamente selectiva con una alta absorción solar y baja emisividad para la radiación infrarroja generada térmicamente. El vaso está provisto de un recubrimiento antirreflejos para lograr una mayor resistencia a la luz de transmisión solar y mejor rendimiento anual [24].

Los receptores para colectores cilindro-parabólicos se pueden clasificar como evacuados o no evacuados. Los receptores de vacío se utilizan comúnmente para temperaturas superiores a 300°C porque tienen un alto vacío entre el tubo de acero y la cubierta de vidrio, lo que reduce las pérdidas térmicas, la cubierta de vidrio, aumenta la eficiencia general del PTC, especialmente en condiciones de funcionamiento más exigentes de temperatura [24].

La cubierta de vidrio de estos receptores está conectada a la tubería de acero por medio de acero inoxidable en la junta de expansión que no sólo compensan las diferencias térmicas de expansión del vidrio y del acero cuando el tubo receptor funciona a valores nominales de temperatura, sino que también proporcionan un estrecho espacio anular entre ambos tubos para hacer el vacío. Uno de los extremos de estas juntas de expansión está directamente soldada a la superficie exterior del tubo de acero, mientras que el otro extremo está conectado al lado opuesto de la tapa de vidrio por medio de una soldadura vidrio-metal y la cubierta de vidrio para absorber las moléculas de gas que pasan del fluido al anillo a través de la pared del tubo de acero [24].

El reflector parabólico puede generar temperaturas mucho más altas de manera más eficiente que un solo colector de placa plana, ya que el área de superficie del absorbedor es mucho más pequeña. El fluido de transferencia de calor, que suele ser una mezcla de agua y otro aditivo o aceite térmico, se bombea a través del tubo y absorbe el calor solar, alcanzando temperaturas de más de 200°C . El agua caliente se envía a un intercambiador de calor donde se calienta directamente [23].

Figura 22. Funcionamiento Colector Cilindro Parabólico. Fuente (23)



El colector generalmente tiene un solo eje de rotación a lo largo del canal que puede orientarse de este a oeste, rastrear el sol de norte a sur, u orientarse de norte a sur y rastrear el sol desde de este a oeste [23].

1.2.2.4 COLECTOR DE CANAL CILÍNDRICO

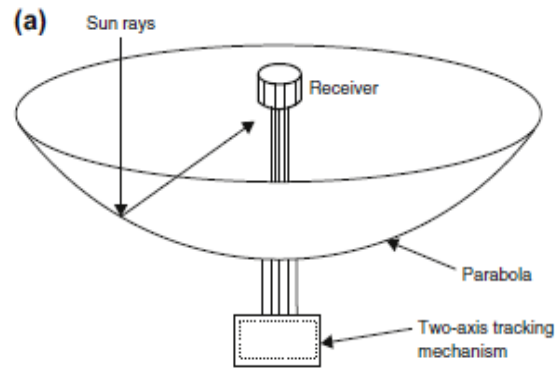
El colector solar de canal cilíndrico es similar al colector de cilíndrico-parabólico y se fabrican doblando una lámina de un material reflectante en forma cilíndrica. El colector está conformado por un receptor metálico pintado en color negro mate y para disminuir las pérdidas térmicas, está rodeado por un vidrio y se coloca a lo largo del plano focal del colector. Para absorber el sol directo y reflejar la energía, el sistema sigue continuamente el movimiento del sol. La energía solar absorbida es reflejada, calentando el fluido de transferencia de calor que rodea a través del receptor y transfigura la energía solar en calor útil. En general, el colector solar está situado en dirección Este-Oeste para trazar la radiación solar en dirección Norte - Sur o desde la posición del colector ubicada en Norte-Sur para seguir la radiación solar desde el este hacia el oeste [25].

El modo de seguimiento influye en las caras del colector hacia el Sol en todo momento del día. Sin embargo, un colector de campo ubicado en Norte-Sur absorbe más energía en el verano y de este a oeste absorbe más energía en invierno durante todo el año. Así que el sentido de la orientación depende de la aplicación y temporada del año [25].

1.2.2.5 REFLECTOR DE DISCO PARABÓLICO

El reflector de disco parabólico o colector solar de platos refleja y enfoca ópticamente la energía solar incidente del sol en una pequeña área de recepción con espejos o lentes. Al concentrar la luz solar en un solo punto, la intensidad de la energía solar receptora se magnifica muchas veces, ya que cada espejo o lente actúa como un solo sol que brilla directamente en el mismo punto focal del plato, lo que significa que se obtiene más potencia general por metro cuadrado. [26]

Figura 23. Diagrama esquemático Colector solar de platos. Fuente (19)



El plato solar se forma de manera paraboloidal mediante el estampado de láminas metálicas finas o mylar (película de poliéster transparente y flexible) recubierto de aluminio delgado, y que a su vez pueden estar en cualquier lugar entre unos pocos pies y varios metros de diámetro. El plato parabólico recolecta la energía solar entrante directamente del sol y la concentra o la enfoca en un área focal pequeña situada frente al plato [26].

El plato solar parabólico está cubierto con pequeños reflectores de espejo alrededor de su forma para ayudar a concentrar la energía térmica en un solo punto focal donde se ubica el absorbedor de calor, produciendo más energía térmica general [26].

Figura 24. Colector solar de platos. Fuente (19)



La estructura del plato debe seguir completamente la trayectoria del sol para reflejar el haz en el receptor térmico. Para ello los mecanismos de seguimiento se emplean en doble, por lo que el colector se sigue en dos ejes [19].

El receptor absorbe la energía solar radiante, convirtiéndola en energía térmica en un sistema de circulación de fluido. La energía térmica puede ser convertida en electricidad mediante un motor-generador acoplado directamente al receptor o transportada a través de tuberías a un sistema central de conversión de energía [19].

Los sistemas de discos parabólicos pueden alcanzar temperaturas superiores a 1500°C. Debido a que los receptores son distribuidos por todo un campo de colectores, como los colectores cilindro-parabólicos, los discos parabólicos se denominan a menudo sistemas receptores distribuidos. Los platos parabólicos tienen varias ventajas importantes como, ser los más eficientes de todos los sistemas de colectores ya que siempre están apuntando hacia el sol; típicamente tienen relaciones de concentración en el rango de 600-2000°C y por lo tanto son altamente eficientes en sistemas de absorción de energía térmica y de conversión de potencia; se trata de unidades modulares de colectores y receptores que pueden funcionar de forma independiente o como parte de un sistema de colectores, un sistema más grande de platos [19].

El uso principal de este tipo de concentrador es para motores de parábola parabólica. Un sistema de motor de disco parabólico es un generador eléctrico que utiliza la luz solar en lugar de petróleo crudo o carbón para producir electricidad. Los mayores partes de un sistema son el concentrador de disco solar y la unidad de conversión de energía [19].

Los sistemas del tipo de colector solar de platos también pueden ser parte de otra tecnología solar denominada sistema de "motor de plato solar". La parte del plato de un sistema de motor de plato solar es muy similar al descrito anteriormente, pero puede incluir muchos espejos parabólicos individuales, pero más pequeños en lugar de un solo plato grande, en ángulo y enfocado al mismo punto focal. Como su nombre lo sugiere, los colectores solares con motor de plato incluyen un tipo especial de motor solar integrado en el receptor solar. Este motor térmico es impulsado por la energía solar térmica que lo convierte en una salida mecánica rotatoria por la compresión cíclica del gas de trabajo del motor, que generalmente es helio o hidrógeno [26].

La energía mecánica que se produce se utiliza para impulsar un generador eléctrico o alternador que produce una cantidad significativa de energía eléctrica de corriente alterna. Estos tipos de motores de calor solar se denominan comúnmente motores Stirling, en honor a su inventor Robert Stirling [26].

La eficiencia y el funcionamiento del motor térmico Stirling están determinados por la temperatura de funcionamiento del gas, que se mantiene entre 650°C y 750°C. Para mantener constantemente la radiación solar reflejada en el punto focal y la temperatura correcta durante todo el día, se utiliza un sistema de seguimiento solar de dos ejes con el plato que hace girar continuamente el concentrador solar [26].

Además de utilizar los colectores solares de platos para generar electricidad a temperaturas muy altas, el plato solar parabólico de tipo concentrador también se puede utilizar para cocinar alimentos. Como el uso de una antena parabólica de un metro de diámetro cubierta con papel de aluminio puede convertirse en una cocina solar con una olla negra de hierro fundido ubicada en su punto focal [26].

1.2.2.6 COLECTOR DE CAMPOS DE HELIOSTATOS

Los sistemas de torres solares consisten en un campo de espejos de heliostatos de seguimiento solar que reflejan la radiación solar directa a un receptor situado en la parte superior de una torre alta [9]. Una torre de energía solar, también conocida como receptor central, es el padre de todos los colectores solares de concentración. Las torres solares utilizan cientos, si no miles, de pequeños colectores solares de espejos de seguimiento solar, llamados heliostatos, que se usan para reflejar la luz solar directamente en un receptor central de absorción de calor [27].

Las tecnologías modernas de receptor central tuvieron inicio en los años 80 con las instalaciones "Solar 1" y "Solar 2" en California, las cuales empleaban diseños de campo norte (para el hemisferio norte) utilizando un panel plano o un receptor de cavidad pequeña. Estas instalaciones lo que demostraron fue que sólo en el rango de más de 10 MW esta tecnología comenzaba a ser económicamente ventajosa, debido a la reducción de los costos de la torre y tuberías. Estas instalaciones proporcionaron experiencia con varios tipos de heliostatos y varios fluidos de trabajo, incluyendo aceite, vapor de agua, sal fundida y sodio. La mayoría de ellos también empleaban pequeñas unidades de almacenamiento y estaban equipados para generar electricidad. De estas instalaciones se aprendieron muchas lecciones sobre sistemas de control, heliostatos, bombas, válvulas, receptores y fluidos de trabajo [19].

Figura 25. Torre de energía solar y heliostatos. Fuente (27)



Una torre de energía tiene una serie circular de grandes platos reflectantes de seguimiento de dos ejes o heliostatos de múltiples espejos planos en el suelo que siguen con precisión la trayectoria del sol a través del cielo durante el día. Estos platos reflectantes capturan y concentran la luz solar en un receptor central montado en la parte superior de la alta torre de energía solar. Estos heliostatos son básicamente espejos de 50 a 150 m² de superficie reflectante y se encuentran equipados con mecanismos de seguimiento solar controlados por computadora que mantienen los espejos alineados para que los rayos reflejados del sol siempre apunten al receptor de absorción de calor ennegrecido, creando un punto focal. Para los heliostatos de espejo múltiple, la posición y orientación de los espejos individuales en la parte superior de la estructura de soporte es diferente para cada heliostato dentro del mismo campo de heliostato para tener en cuenta su posición relativa y el ángulo hacia la torre [27].

La disposición y el posicionamiento del campo de heliostatos están determinados por la posición de la torre de energía solar y su ubicación geográfica, se cuenta con tres disposiciones generales como son:

- Los helióstatos rodeando completamente la torre receptora, y el receptor, que es cilíndrico, tiene una superficie exterior de transferencia de calor.
- Los helióstatos están situados al norte de la torre receptora (en el hemisferio norte), y el receptor tiene una superficie de transferencia de calor cerrada.

- Los helióstatos están situados al norte de la torre receptora, y el receptor, que es un plano vertical, tiene una superficie de transferencia de calor orientada al norte [19]

De acuerdo a estas disposiciones se puede determinar que los heliostatos ubicados más cerca de la torre solar son los más eficientes, ya que la luz solar reflejada tiene menos distancia para viajar por el aire, mientras que los heliostatos colocados lejos de la torre solar son menos eficientes, ya que la fuerza de la energía solar reflejada reduce cuanto la distancia recorrida es mayor. Los heliostatos más cercanos son menos propensos a la sombra de sus heliostatos vecinos, pero están afectados por la sombra de la torre. Al estar más cerca, también requieren un seguimiento solar menos preciso del sol. Los heliostatos alejados deben instalarse retirados de los heliostatos vecinos para eliminar el sombreado, esto hace que se requieran mecanismos de seguimiento altamente precisos para mantener la luz solar reflejada en la posición correcta en la torre. La altura de la torre solar en la que se monta el receptor central también desempeña un papel en la disposición del campo de heliostatos. Se prefieren torres más altas de entre 80 y 110 metros ya que se pueden usar campos de heliostatos más densos para reducir los efectos del sombreado y también del uso de la tierra. Sin embargo, esto se compensa con el aumento de los costos de la torre y la instalación, así como el costo de los requisitos de seguimiento extremadamente precisos para la gran mayoría del campo de heliostatos, y no solo de los más alejados [27].

Un fluido de transferencia de calor a alta temperatura o un medio de trabajo en el receptor central absorbe la radiación altamente concentrada reflejada por el campo de heliostatos y convierte esta energía térmica en vapor de alta presión sobrecalentado para ser utilizado en el movimiento de una serie de turbinas, como una máquina tradicional o una central eléctrica para generar electricidad. Al enfocar la luz solar y, por lo tanto, concentrar la energía solar térmica de esta manera, se pueden alcanzar temperaturas muy altas, desde 800 °C hasta más de 1000 °C. Sin embargo, no todos los heliostatos se utilizan para concentrar su energía solar reflejada en la torre al mismo tiempo o en el mismo punto focal, las temperaturas extremadamente altas pueden hacer que el receptor se sobrecaliente y se derrita [27].

El medio de transferencia de calor utilizado para la mayoría de las torres de energía solar de tipo moderno incluye agua o vapor, sales fundidas, sodio líquido, aceite e incluso aire. Los primeros diseños de torres solares enfocaron los rayos del sol para calentar agua corriente en un tanque de

agua fría a alta presión montado en la parte superior de la torre y luego utilizaron el vapor generado resultante para alimentar un generador de turbina. Hoy en día, la nueva torre de energía solar utiliza sal fundida como el nitrato de sodio, el cual es un medio de transferencia eficiente, pero el agua todavía se usa como refrigerante para el receptor. El uso de sal fundida significa que el calor absorbido puede almacenarse durante muchas horas y usarse de noche o en días de poca energía solar. La sal líquida precalentada a una temperatura de aproximadamente 300 °C se bombea hacia la torre desde un tanque de almacenamiento en frío a través del receptor central que absorbe el calor, donde se calienta hasta más de 600 °C por la luz solar concentrada y luego fluye por la torre con la ayuda de la gravedad en un tanque de almacenamiento de líquido caliente para su uso posterior por la planta generadora. La sal se enfría a medida que transfiere su energía térmica al agua y se devuelve al tanque de almacenamiento en frío para que el receptor termo solar lo vuelva a calentar, una de las principales desventajas de usar sal fundida es que la sal debe mantenerse en estado líquido en el sistema en todo momento, incluso durante el modo de espera o cuando no hay radiación solar para evitar que se solidifique y bloquee las tuberías o la corriente [27].

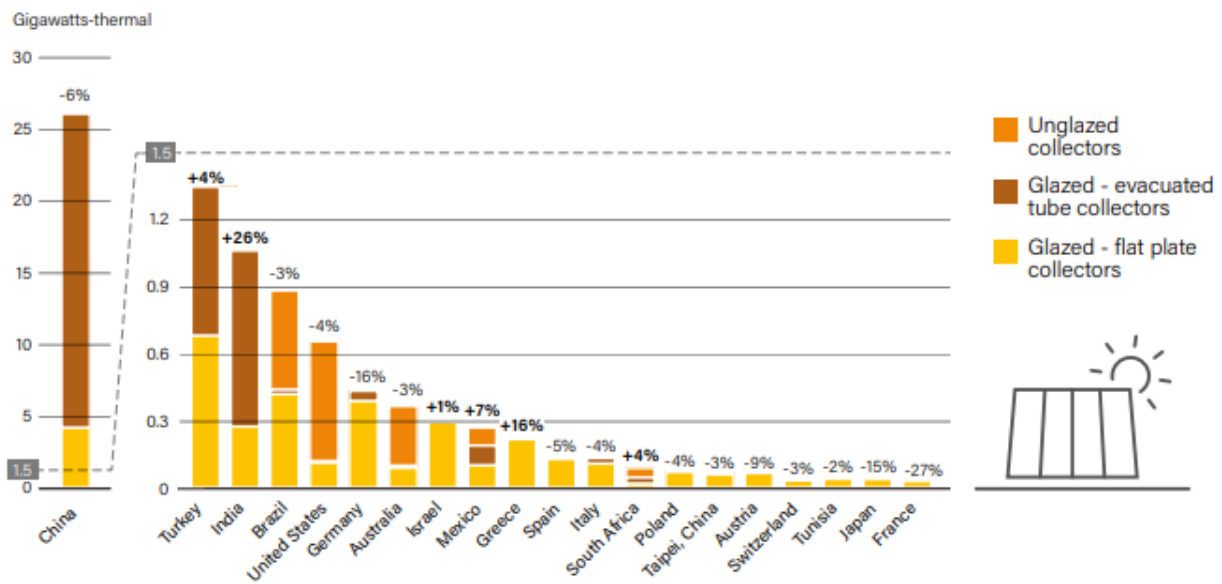
Las torres de energía solar tienen muchas ventajas sobre otras formas de concentración de colectores solares para su uso en un sistema de generación de electricidad solar. Son una planta de energía solar no contaminante, con cero emisiones (a excepción de la luz solar dispersa) que puede generar electricidad continuamente durante largos períodos de tiempo siempre que tengan un medio de almacenar la energía térmica gratuita que proviene del sol. Uno de estos medios de almacenamiento utilizado en las instalaciones modernas de torres solares es la sal fundida. Aunque en la actualidad las torres solares producen electricidad que cuesta más que la electricidad generada con combustibles fósiles debido principalmente a que es una tecnología relativamente nueva, las torres solares tienen el potencial de lograr mayores eficiencias, hasta un 20% y se pueden expandir fácilmente agregando más heliostatos más que muchas otras tecnologías de concentración solar, lo que reduce los costos y proporciona energía confiable para sus clientes durante un largo período de tiempo [27].

Sin embargo, también hay muchos inconvenientes en las torres de energía solar. Las torres solares y los heliostatos que las rodean ocupan una gran cantidad de tierra y, por lo general, se ubican en lugares remotos del desierto con alta exposición al sol o en espacios vacíos de tierra que requieren nuevos accesos, carreteras y torres de electricidad para conectar la estación de

generación solar a la empresa de servicios públicos nacional. Además, el tamaño, la altura y la reflexión solar dispersada desde la torre y el campo de helióstatos circundante pueden tener un impacto negativo en el entorno local y la vida silvestre. Pero a pesar del hecho de que las plantas de energía de torres solares son grandes y consumen una gran cantidad de tierra, aún utilizan mucho menos espacio que las represas hidroeléctricas, las que requieren un gran lago detrás de la represa o una central eléctrica de carbón convencional que requiere grandes áreas de tierra Para el almacenamiento y procesamiento del carbón. En última instancia, el tamaño total de la planta generadora de torre de energía solar generalmente está limitado por la distancia máxima desde la torre hasta la última fila de heliostatos [27].

Como hemos visto existen diferentes tipos de colectores y son de alta importancia a la hora de producir energía, la revista RENEWABLES 2018 nos muestra en la siguiente grafica como ha ido aumentando las instalaciones de colectores solares en el mundo y cuál es el país que ha estado instalando más esta tecnología [28]:

Figura 26. Los países con mayor capacidad agregada en el 2017. Fuente (28)



1.3 MONTAJES EN EL MUNDO

1.3.1 PLANTA TERMOSOLAR CON PLACA PLANA EN CONDAT, FRANCIA

Figura 27. Planta termo solar Savosolar Francia. Fuente (29)



Iniciado en enero de 2019 y luego de un exitoso período de prueba operativa, la planta termosolar de 3.3 MW en Condat-sur-Vézère, Francia, entregada a NewHeat SAS.

Esta planta termosolar, la más grande de Europa para procesos industriales, tiene el objetivo de producir un promedio de 4,000 MWh / año de calor. Cubriendo el 32% de la necesidad de agua caliente para la generación de vapor en la fábrica de papel local. Con un rendimiento solar alto, de más de 1.000 kWh / m², este campo térmico solar es el primero de su tipo en el mundo, debido a los colectores solares Savosolar de alta eficiencia instalados en un sistema de seguimiento de un solo eje. 66 estructuras inclinadas, cada una con cuatro colectores de 16 m², diseñadas para que sigan al sol desde la mañana hasta la noche y así, maximizar la producción de calor. [29]

Esta planta solar térmica es la más grande de Francia y el sistema de calor de procesos industriales de energía solar térmica más grande de Europa. Además, tiene cobertura a escala de servicios públicos, tanto en calefacción urbana como en proceso de calefacción industrial. El proyecto fue desarrollado y financiado por NewHeat y Savosolar actuó como contratista de EPC. Es decir, se diseñó todo el sistema para proveer energía. [29]

1.3.2 ABENGOA, IDC Y PIC INAUGURAN XINA SOLAR ONE, TERMOSOLAR DE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS EN SUDÁFRICA

Figura 28. Plantatermosolar cilindro parabólica Xina Solar One. Fuente:
<http://www.abengoa.com/web/es/negocio/energia/termosolar/index.html>



Xina Solar One, con una capacidad de 100 MW, proporciona energía limpia, sostenible y gestionable a 95.000 hogares sudafricanos, especialmente en horas de alta demanda, gracias a su sistema de almacenamiento de cinco horas y media. La termosolar proporciona energías renovables a un país con alta dependencia de los combustibles fósiles y evita la emisión a la atmósfera de 348.000 toneladas de CO₂ al año. [30]

La central, que ha estado operando durante los últimos nueve meses a plena capacidad, ha requerido una inversión de 9.459 millones de rands sudafricanos (unos 630 millones de euros) para su construcción. [30]

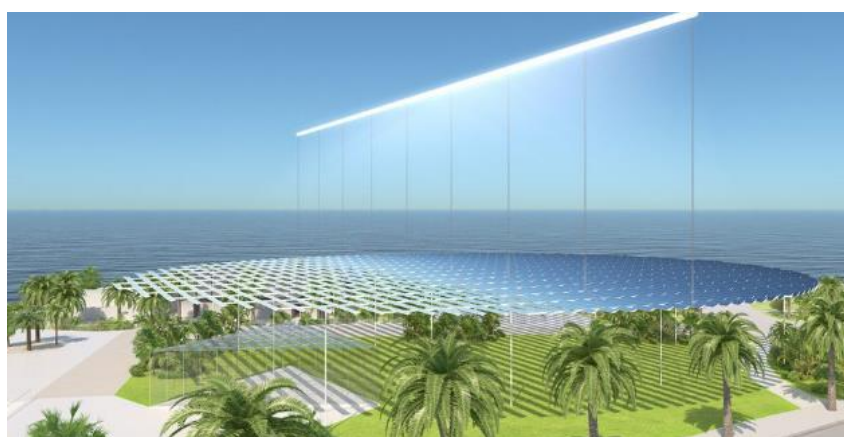
Xina Solar One, con 100 MW de potencia, emplea la tecnología de colectores cilindro-parabólicos para generar energía renovable, sostenible y gestionable a partir del sol. Además, incorpora un sistema de almacenamiento térmico con sales fundidas, capaz de acumular la energía necesaria para dar suministro durante 5,5 horas adicionales, lo que le permite contribuir a satisfacer los picos de demanda eléctrica del país. [30]

La planta se ubica cerca de Pofadder, en la provincia de Northern Cape, limitando al norte con la parcela de Kaxu Solar One, también construida por Abengoa, que fue la primera planta termosolaren operación del país con tecnología de colectores cilindro-parabólicos, con 100 MW de potencia y 2,5 horas de almacenamiento térmico en sales fundidas. Ambas plantas conforman

la mayor plataforma solar del África subsahariana y contribuyen a satisfacer la continua demanda de energía de Sudáfrica, suministrando electricidad limpia de forma estable. [30]

1.3.3 REFLECTOR LINEAL DE FRESNEL SUN RAY, PROYECTO PARA PROVEER ENERGÍA DE MANERA SOSTENIBLE EN 220 HOGARES EN MELBOURNE

Figura 29. Colector solar lineal de Fresnel. Fuente (31)



SunRay

ArtistTeam: Antonio Maccà

Tecnología de energía: reflector lineal de Fresnel

Capacidad anual: 1,100 MWh

Una presentación para el concurso de diseño 2018 Land Art Generator Initiative para Melbourne.[31]

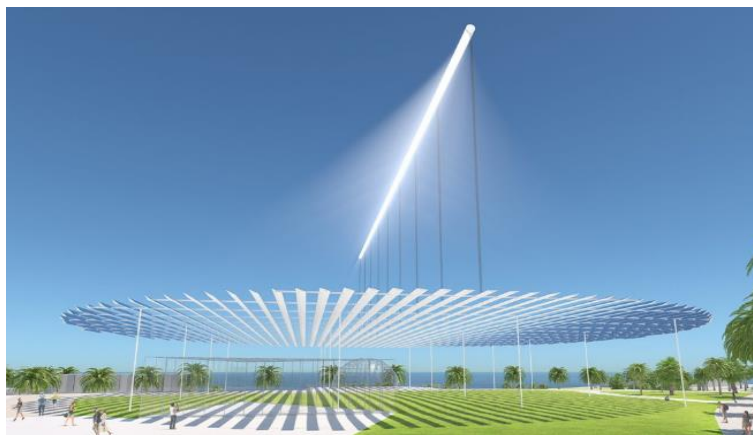
El proyecto es una reinterpretación creativa de la tecnología de reflector lineal de Fresnel que puede producir 1,100 MWh de energía limpia por año para la ciudad de Port Phillip en Melbourne, Australia. [32]

SunRay consiste en una serie de espejos planos, cada uno con un sistema de seguimiento de un solo eje, dispuesta en forma redonda con un diámetro de 279 pies y elevada sobre columnas de acero delgadas. Para capturar la energía del sol, Antonio Maccà recurrió a la tecnología de

reflector lineal de Fresnel, en la que los espejos se utilizan para enfocar la luz solar en un receptor solar. Un bloque de energía ubicado bajo tierra transforma la energía solar en electricidad antes de alimentarla a la red eléctrica de la ciudad. [32]

Los residentes y visitantes pueden interactuar con el SunRay usándolo como un dosel de sombra. Las 50 líneas de espejos primarias proyectan sombra sobre el espacio del parque público, mientras que los espejos crean un juego de luces y sombras en constante cambio a medida que giran para rastrear el sol. [32]

Figura 30. Vista perspectiva Colector solar lineal de Fresnel. Fuente (31)



1.3.4 PUERTO ERRADO 2: INAUGURA LA PLANTA TERMOSOLAR CON TECNOLOGÍA FRESNEL MÁS GRANDE DEL MUNDO

Figura 31. Termosolar lineal de Fresnel España. Fuente (33)



Ubicada en Calasparra, Murcia (España), PE2 de 30 MW de energía, ha sido construida sobre una superficie de 650.000 m², equivalente a la superficie aproximada de 91 campos de fútbol

FIFA. Sobre el terreno se han instalado 28 filas de espejos reflectores de casi un kilómetro de largo cada una y una superficie total de espejos de unos 302.000 m², que capturan el sol. Los espejos planos concentran los rayos solares en tubos receptores llenos con agua que consta de un reflector secundario y un tubo absorbedor. Debido al calentamiento del agua en el tubo receptor, se genera vapor saturado de hasta 270 grados a 55 bar de presión y luego el vapor se recoge en un tambor y se hace circular por dos turbinas de vapor de 15 MW cada una que mueven sendos generadores, transformando así la energía térmica generada por el campo solar en energía eléctrica que se entrega a la red. La planta evitará la emisión anual de 16.000 toneladas de CO₂ a la atmósfera. [33]

La tecnología utilizada en la instalación ha sido desarrollada por NovatecBiosol AG, una empresa mayoritariamente propiedad de Transfield Holdings, y permite un considerable ahorro de agua, espacio y costes de construcción, ya que es fundamental; de lo contrario, "la escasez de agua en la Región haría prácticamente inviable el proyecto". [34]

El coste total para este proyecto que asciende a 160 millones de Euro (aprox. 200 millones de Francos Suizos). La planta es un proyecto emprendedor, en el cual participan con un 85% las empresas suizas de servicios eléctricos EBL, IWB, ewz, EKZ, ewb y un 15% Novatec Solar, empresa alemana proveedora de la tecnología Fresnel. [33]

1.3.5 PLANTA TERMOSOLAR DE CANAL PARABÓLICO ANDASOL

Figura 32. Perspectiva Termosolar Andasol. Fuente:

<http://www.grupocobra.com/proyecto/central-termosolar-andasol-1/>



Cliente: Cobra / Solar Millenium

Localización: Granada | España

Estado: Finalizado

Área de Negocio: Proyectos Integrados (Plantas de Generación Eléctrica)

El proyecto Andasol se sitúa en la localidad de Aldeire y constituye el mayor complejo termosolar instalado en Europa y segundo en el mundo (2007). En Andalucía, al sur de España, cerca de Guadix (provincia de Granada), se encuentra la planta termosolar más grande del mundo, "Andasol 1". Se trata de una planta termosolar con colectores cilindro parabólicos con una superficie de colectores de 510.000 m². La planta termosolar, tiene una potencia de 50 MW, cubre el consumo eléctrico de hasta 50.000 hogares, es decir 200.000 personas. [35]

El sistema de almacenamiento permite acumular energía térmica proveniente del sol durante las horas del día, posibilitando la operación a plena carga durante 7,5 horas tras la puesta de sol. De esta forma, Andasol puede adaptar la generación de energía eléctrica tanto a los requerimientos de la curva de demanda como a los del operador del sistema eléctrico español. Esta característica hace que este tipo de centrales sean consideradas como gestionables, es decir, pueden programar con antelación la energía que van a entregar al sistema. [36]

En la planta termoeléctrica Andasol se usan los colectores denominados Skal-ET, que comparados con otras tecnologías hasta ahora instaladas en este tipo de planta, son eficientes y económicos en su fabricación. Una innovación fundamental en el diseño del colector, es la utilización de una nueva celosía espacial, los llamados "Torque Box", que no sólo reducen el peso del colector, sino que sobre todo, cuentan con una resistencia a la torsión y a la flexión de manera que puedan conservar su gran precisión aún con vientos fuertes. [35]

El campo solar de la planta termoeléctrica de Andasol mide 1500 x 1300 metros (195 ha). Se deben montar 7.488 colectores. Las piezas de acero galvanizado prefabricadas, los espejos y los tubos de absorción son suministrados en contenedores, descargados, almacenados temporalmente y después ensamblados. Después son montados en los pilares de campo, conectados al circuito de circulación de aceite y puestos en funcionamiento. [35]

1.3.6 NOOR ENERGY ONE, DUBAI COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS (PROCESO DE CONSTRUCCIÓN)

Figura 33.Planta cilindro parabólica. Fuente (38)



El emirato de Dubái construye una planta de energía termosolar concentrada. Se trata de una planta termosolar en Dubái de 700 MW de potencia, divididos en 100 de torre y 600 de cilindro parabólico que forma parte del mayor complejo solar, Mohammed binRashid Al Maktoum Solar Park. [37]

Usando espejos templados y receptores cilindro-parabólicos que integrará la planta termosolar. La instalación, bautizada como NoorEnergy 1, incluye, además, 250 MW de energía solar fotovoltaica, con una planta de almacenamiento de energía de vanguardia que mantendrá la metrópolis en funcionamiento hasta 15 horas después de la puesta del sol. [38]

La compañía suministrará sus tubos receptores PTR 90-4G de alto rendimiento y sus espejos 8.2 ParabolicTrough a las tres unidades CSP de la instalación, cada una de las cuales contará con 200 MW de potencia instalada. [38]

La planta utilizaría sal fundida en lugar de agua para almacenar energía térmica, ya que los estudios han demostrado que la sal fundida retiene más energía. Por lo tanto, almacenará energía para que la ciudad la use a una fracción de las baterías de ion de litio que ahora se usan. [39]

Una vez terminado, el complejo solar proporcionará energía limpia a más de 320.000 hogares, al tiempo que reducirá las emisiones de carbono en 1,6 millones de toneladas al año. [38]

1.3.7 PLANTA SOLAR TÉRMICA DE REFLECTOR PARABÓLICO, INDIA ONE

Figura 34.Planta reflector parabólico India. Fuente (40)



Brahmakumaris en Mt Abu han instalado una innovadora planta de energía solar térmica de 1 MW. Reemplazaron las celdas fotovoltaicas por unas que funcionan con agua. [40]

La planta está financiada conjuntamente por los gobiernos de India y Alemania, utiliza 770 platos reflexivos parabólicos, cada uno con un área de 60 m^2 . Facilitan el almacenamiento térmico para un funcionamiento continuo. La planta tiene la suficiente capacidad para generar suficiente calor y energía para un campus de 25.000 personas y es un hito para la generación de energía descentralizada y limpia en la India. [40]

La planta se basa en 3 tecnologías claves: reflectores parabólicos, almacenamiento térmico y ciclo de rankine. Los platos de 60 m^2 enfocan los rayos solares hacia el receptor de cavidad interno que está hecho de fundición de hierro y, por lo tanto, proporciona un excelente almacenamiento térmico, la bobina del intercambiador de calor está conectada al almacenamiento térmico y permite una transferencia de calor mejorada. Un buen aislamiento y un obturador automático evitan pérdidas sustanciales de energía durante la noche o en condiciones de

nubosidad. El almacenamiento térmico funciona entre 250 °C y 450 °C. Por medio de la masa térmica total, la capacidad será suficiente para hacer funcionar la turbina durante todo el día. [40]

La singularidad del proyecto es que el 90% de los componentes en él se hacen en la India. Excepto Rathod, el generador de turbina, importado de Alemania, y el vidrio reflector especial de EE.UU. [40]

Figura 35. Vista espacial planta reflector parabólico India. Fuente:

<http://www.comsolar.in/what-we-do/demonstration-projects/solar-thermal-power-plant-india-one/>



1.3.8 COLECTOR DE CAMPO DE HELIOSTATOS CON TORRE CENTRAL, SEVILLA- ESPAÑA, SOLÚCAR

Figura 36. Vista espacial planta Solúcar. Fuente:

https://elpais.com/diario/2007/03/31/andalucia/1175293327_850215.html



La torre solar PS10, de 11 megavatios de potencia, es la primera planta comercial del mundo con tecnología de torre. La PS10 se puso en marcha a mediados de 2007 y desde entonces ha estado operando suministrando energía limpia a la red. [41]

La PS10 está compuesta por un campo solar de 60 hectáreas y 624 helióstatos de 120 m² cada uno, diseñados por Abengoa Solar. Los helióstatos concentran la radiación solar que reciben sobre el receptor que se sitúa en la parte superior de una torre de 115 metros de altura. Además, la PS10 posee 30 minutos de almacenamiento que le permite seguir operando bajo condiciones de baja irradiación y periodos de nula insolación. Para su funcionamiento, los helióstatos se mueven de forma automática en función del calendario solar. El reflejo solar se concentra en el receptor en la parte superior de la torre, y éste aprovecha la energía recibida para producir vapor de agua que se turbiniza para producir energía eléctrica suficiente para abastecer a 6.000 hogares. [41]

La torre PS10, con una producción equivalente a aproximadamente 5.500 hogares, el equivalente a la población de Sanlúcar la Mayor, evita la emisión de 6.000 toneladas de CO₂ anuales, a la vez que minimiza el consumo de recursos naturales y la generación de residuos. [41]

Figura 37. Torre de energía planta Solúcar. Fuente (41)



Tabla 2 Potencia mundial instalada de Energía Termosolar de Concentración (MW_p)

Año	1984	1985	1989	1990	...	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Instalado	14	60	200	80	0	1	74	55	179	307	629	803	872	925	420	110
Acumulado	14	74	274	354	354	355	429	484	663	969	1,59	2,55	3,42	4,33	4,70	4,81

Tabla 3 Instalaciones de colectores solares de concentración en el

mundoohttps://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_termosolar_de_concentraci%C3%B3n#cite_note-

9

Proyecto	País	Potencia(MW)	Tecnología	Completada
Acme Solar	India	2,5	Torre	2012
Andasol-1 (AS-1)	España	49,9	Cilíndrica	2008
Andasol-2 (AS-2)	España	49,9	Cilíndrica	2009
Andasol-3 (AS-3)	España	50	Cilíndrica	2011
Archimede	Italia	4,72	Cilíndrica	2010
Arcosol 50 (Valle 1)	España	49,9	Cilíndrica	2011
Aste 1A	España	50	Cilíndrica	2012
Aste 1B	España	50	Cilíndrica	2012
Astexol II	España	50	Cilíndrica	2012
Augustin Fresnel 1	Francia	0,25	Fresnel	2012
Beijing Badaling	China	1.5	Torre	2012
Borges Termosolar	España	22.5	Cilíndrica	2012
Cameo	EUU	2	Cilíndrica	2010
Ibersol Puertollano (EX-1)	España	50	Cilíndrica	2007
Extresol-1 (EX-1)	España	50	Cilíndrica	2010
Extresol-2 (EX-2)	España	49,9	Cilíndrica	2010
Extresol-3 (EX-3)	España	50	Cilíndrica	2012
Gemasolar	España	19,9	Torre	2011
Guzmán	España	50	Cilíndrica	2012
Helioenergy 1	España	50	Cilíndrica	2011
Helioenergy 2	España	50	Cilíndrica	2012

Helios I	España	50	Cilíndrica	2012
Helios II	España	50	Cilíndrica	2012
Holaniku at Keahole Point	EUU	2	Cilíndrica	2010
Puertollano	España	50	Cilíndrica	2009
ISCC HassiR'mel	Argelia	25	Cilíndrica	2011
ISCC Kuraymat	Egipto	20	Cilíndrica	2011
ISCC Morocco	Marruecos	20	Cilíndrica	2010
Jülich Solar	Alemania	1,5	Torre	2008
Kimberlina	EUU	5	Fresnel	2008
La Africana	España	50	Cilíndrica	2012
La Dehesa	España	49,9	Cilíndrica	2011
La Florida	España	50	Cilíndrica	2010
La Risca (Alvarado I)	España	50	Cilíndrica	2009
Lebrija 1 (LE-1)	España	50	Cilíndrica	2011
Majadas I	España	50	Cilíndrica	2010
Manchasol-1 (MS-1)	España	49,9	Cilíndrica	2011
Manchasol-2 (MS-2)	España	50	Cilíndrica	2011
Maricopa Solar Project	EUU	1,5	Disco	2010
MNGSEC	EUU	75	Cilíndrica	2010
Morón	España	50	Cilíndrica	2012
NSO	EUU	72	Cilíndrica	2007
Olivenza 1	España	50	Cilíndrica	2012
Orellana	España	50	Cilíndrica	2012
Palma del Río I	España	50	Cilíndrica	2011
Palma del Río II	España	50	Cilíndrica	2010
PS10	España	11	Torre	2007
PS20	España	20	Torre	2009
Puerto Errado 1	España	1,4	Fresnel	2009
Puerto Errado 2	España	30	Fresnel	2012
Saguaro	EUU	1	Cilíndrica	2006
Shams 1	E	100	Cilíndrica	2013
Sierra	EUU	5	Torre	2009
Solaben 3	España	50	Cilíndrica	2012

Solacor 1	España	50	Cilíndrica	2012
Solacor 2	España	50	Cilíndrica	2012
SEGS I	EUU	13,8	Cilíndrica	1984
SEGS II	EUU	30	Cilíndrica	1985
SEGS III	EEUU	30	Cilíndrica	1985
SEGS IV	EEUU	30	Cilíndrica	1989
SEGS V	EEUU	30	Cilíndrica	1989
SEGS VI	EEUU	30	Cilíndrica	1989
SEGS VII	EEUU	30	Cilíndrica	1989
SEGS VIII	EEUU	80	Cilíndrica	1989
SEGS IX	EEUU	80	Cilíndrica	1990
Solnova 1	España	50	Cilíndrica	2009
Solnova 3	España	50	Cilíndrica	2009
Solnova 4	España	50	Cilíndrica	2009
Termesol 50 (Valle 2)	España	49,9	Cilíndrica	2011
Termosol 1	España	50	Cilíndrica	2013
Termosol 2	España	50	Cilíndrica	2013
TSE1	Tailandia	5	Cilíndrica	2012
Yazd ISCC	Irán	17	Cilíndrica	2010

4. DISEÑO DEL COLECTOR

Para solucionar el problema anteriormente mencionado, se instaló un colector solar de tubo evacuado de 80 litros marca Ajover en la cubierta de los baños de profesores de la zona de deportes de la universidad tecnológica de Pereira.

A continuación, se describirán las especificaciones, características técnicas del producto proporcionado en el catálogo del fabricante, las cuales se utilizarán en el diseño preliminar para realizar los cálculos pertinentes y así estimar la temperatura adecuada a la salida del grifo de la ducha [43].

Diámetro del tanque externo 460 mm

Altura del tanque 900 mm

Diámetro tubería entrada y salida ½”

Longitud tubo exterior 1800 mm

Diámetro exterior del tubo 58 mm

Material estructura acero galvanizado con ángulo de 30 °

Eficiencia del colector de 55%

Material tubería línea de entrada de agua fría sugerida PVC

Material tubería línea salida de agua caliente sugerida CPVC

Área de captación 1,35 m²

2.1 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR TEMPERATURA

El parámetro más importante con el que se debe contar o calcular para obtener un buen diseño es el área de la absorción, la cual se puede obtener con la siguiente expresión:

$$A_c = \frac{L_{UA}}{\eta H_T} = \frac{\dot{Q}_{UA} + \dot{Q}_T}{\eta \bar{H}_T} \quad (1)$$

Donde:

A_c : Área de la placa de absorción [m²]

L_{UA} : Carga térmica mensual, [GJ/año]

\dot{Q}_{UA} : Calor requerido para calentar el agua, [GJ/año]

\dot{Q}_T : Pérdidas en el tanque

η : Eficiencia del colector

\bar{H}_T : Radiación global promedio anual en la superficie inclinada, [kWh/m²- día] [42]

Para la radiación global promedio sobre la superficie inclinada (\bar{H}_T) en la ciudad de Pereira, se toma como base los datos registrados en la unidad meteorológica de la facultad de ingeniería mecánica de la UTP, que para este trabajo ya se había descrito en el capítulo 1 el cual tiene un valor de:

$$\bar{H}_T = 4,35 \text{ kWh/m}^2\text{- día} = 15,66 \text{ MJ/m}^2\text{- día}$$

Para el dimensionamiento del colector y del tanque es necesario calcular la carga térmica mensual, la cual está conformada por el calor necesario para calentar los ochenta litros a cierta temperatura, y las pérdidas en el tanque acumulador, lo cual se obtiene con las siguientes expresiones [40]:

$$L_{UA} = \dot{Q}_{UA} + \dot{Q}_T \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{UA} = \dot{m}NC_p(T_f - T_o) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_T = (UA)_T * (T_f - T_a) \quad (4)$$

Donde:

\dot{m} : Consumo diario de agua caliente en kg/día

N: días del año

C_p : Calor específico del agua en J/kg °C

T_f : Temperatura del agua en °C

T_o : Temperatura inicial del agua, aproximadamente (22 °C)

T_a : Temperatura ambiente en °C

Como se cuenta con la altura del tanque y el diámetro exterior se procede a calcular el área del tanque con la siguiente ecuación:

$$A_T = \frac{\pi D^2}{2} + \pi Dh \quad (5)$$

$$A_T = \frac{\pi(0,46 \text{ m})^2}{2} + \pi(0,46 \text{ m})(0,9 \text{ m}) = 1,632 \text{ m}^2$$

Para la evaluación de pérdidas de calor en el tanque, se utiliza la ecuación anteriormente descrita, en donde se usa el criterio de ASHRAE (saciedad americana de ingenieros de calefacción refrigeración y aire acondicionado) la cual determina un coeficiente de pérdidas en el tanque de:

$$U_T = 763,346 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} = 0,212 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 ^\circ\text{C}}$$

Conociendo ya todos los valores necesarios para calcular la temperatura final, se procede a remplazar las ecuaciones 3 y 4 en 1 así se obtiene:

$$A_C = \frac{L_{UA}}{\eta H_T} = \frac{\dot{Q}_{UA} + \dot{Q}_T}{\eta \bar{H}_T} = \frac{\dot{m}NC_p(T_f - T_o) + U_TA_T * (T_f - T_a)}{\eta \bar{H}_T}$$

Despejando se obtiene:

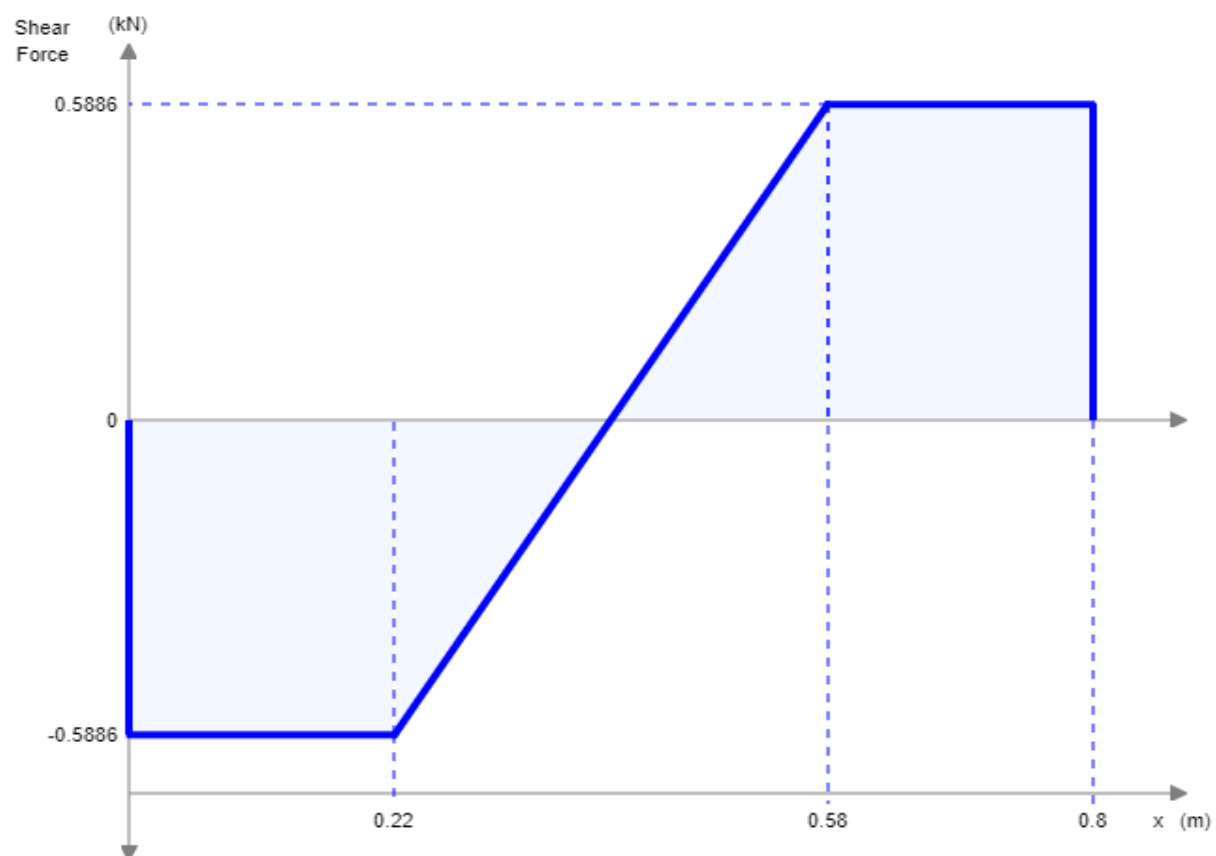
$$T_f = \frac{A_C \eta \bar{H}_T + \dot{m}NC_p T_o + U_TA_TA_T}{\dot{m}NC_p + U_TA_T}$$

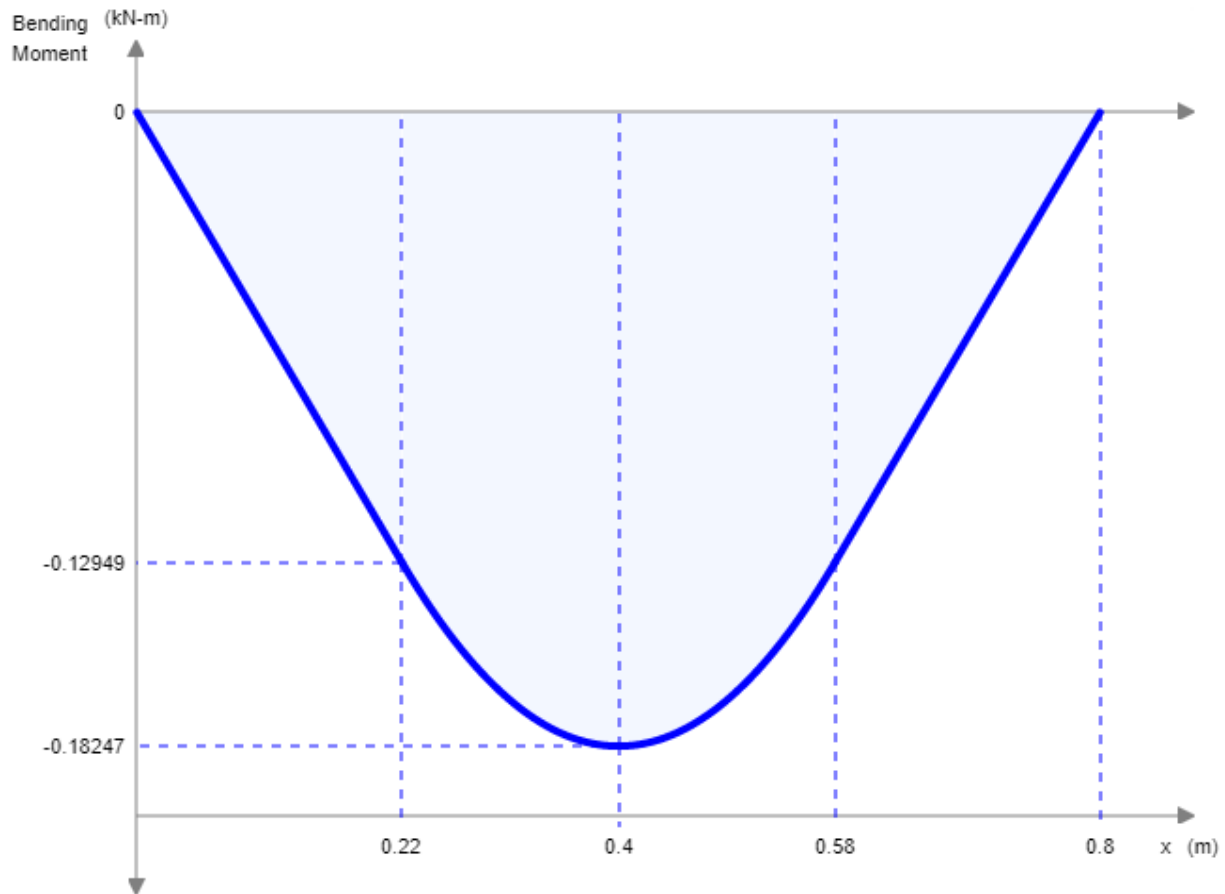
$$T_f = \frac{1,35 * 0,55 * 15,66 + 80 * 365 * 4190 * 22 + 763,346 * 23 * 1,632}{80 * 365 * 4190 + 763,346 * 1,632} = 53,928027 ^\circ\text{C}$$

$$T_f \cong 54 ^\circ\text{C}$$

Como anteriormente se mencionó se debe tener precaución a la hora de instalar un colector solar en la cubierta de cualquier edificación, debido a que el peso del colector hará que sea necesario en algunos casos la modificación de la estructura de la cubierta, para obtener un diseño adecuado se analiza a continuación el comportamiento del colector instalado en la viga previamente:

Figura de esfuerzo cortante y momento flector de la viga

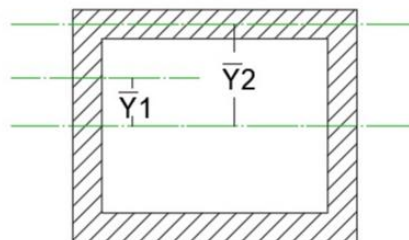




$$w = \frac{120\text{kg} * 9,81}{b} = \frac{1177,2 \text{ N}}{0,36 \text{ m}} = 0,327 \text{ kN/m}$$

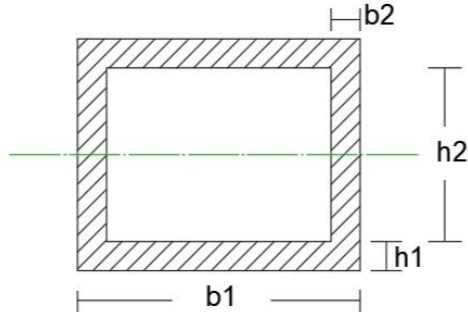
$$\sigma = \frac{M_{\max} * C}{I} = \frac{0,18247 \text{ kN m} * 0,0275\text{m}}{2,877213125 \times 10^{-7} \text{ m}^4} = 17,440227 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{VQ}{I_t} = \frac{0,5886 \text{ kN} * 5,190375 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{2,877213125 \times 10^{-7} \text{ m}^4 * 0,006 \text{ m}} = 1,76968 \text{ MPa}$$



$$Q = \sum \bar{Y}A' = \bar{Y}_1A_1 + \bar{Y}_2A_2$$

$$Q = (0,01225\text{m})(7,35 \times 10^{-5}\text{m}^2) + (0,026\text{m})(1,65 \times 10^{-4}\text{m}^2) = 5,190375 \times 10^{-6}\text{m}^3$$



$$t = 2b_2 = 2 * 0,003\text{m} = 0,006\text{m}$$

$$I = \sum (I_i + A d^2)$$

$$I = 2 \left[\frac{1}{12} b_1 h_1^3 + b_1 h_1 d_1^2 \right] + 2 \left[\frac{1}{12} b_2 h_2^3 \right]$$

$$I = 2 \left[\frac{1}{12} (0,055\text{m})(0,003\text{m})^3 + (0,055\text{m})(0,003\text{m})(0,026\text{m})^2 \right] \\ + 2 \left[\frac{1}{12} (0,003\text{m})(0,0505\text{m})^3 \right]$$

$$I = 2,877213125 \times 10^{-7}\text{m}^4$$

El material con el que contamos en la estructura del colector es un AISI SAE 1020 por lo tanto de las tablas se obtienen los valores

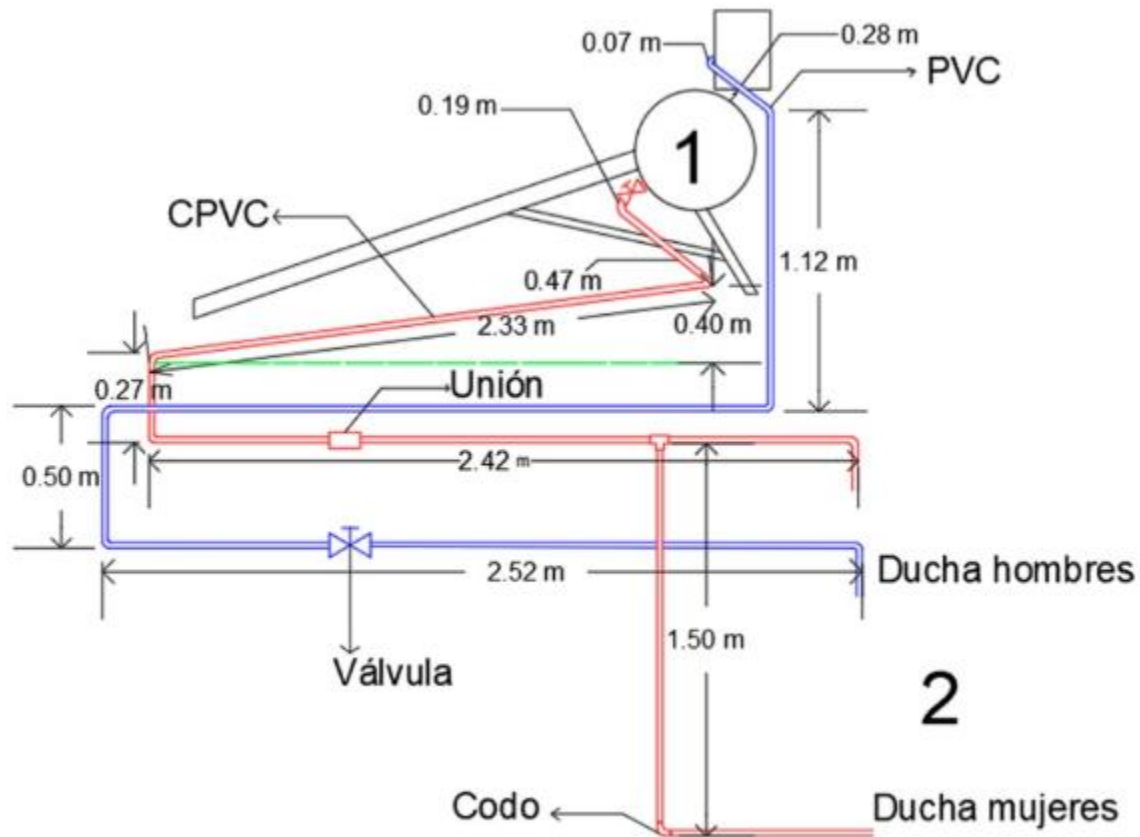
$$\sigma_{\text{adm}} = 100 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{adm}} = 50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 300 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = 0,5 \sigma_y$$

Comparando los esfuerzos reales con los admisibles, se puede notar que ya que son mucho menores lo reales con respecto a los admisibles la viga soporta la carga con buena seguridad



Del diagrama esquemático del sistema hidráulico del colector solar se procede a calcular para el agua fría de la ducha de los hombre la velocidad de salida por medio de la ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_P = \frac{P_2}{\gamma} + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_P = V_1 - \frac{V^2}{2g} = 1,62\text{m} - \frac{V^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

Donde

$$H_P = H_{P\text{primarias}} + H_{P\text{secundarias}} = f \frac{L V^2}{D 2g} + \sum K \frac{V^2}{2g}$$

$$H_P = f \frac{6,96 \text{ m}}{0,01388 \text{ m}} \frac{V^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} + \sum (6 * K_{\text{codos } 90^\circ} + K_{\text{Válvula}}) \frac{V^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_P = f \frac{6,96 \text{ m}}{0,01388 \text{ m}} \frac{V^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} + \sum (6 * 0,75 + 0,2) \frac{V^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

Igualando las ecuaciones obtenemos:

$$1,62 \text{ m} - \frac{V^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 25,557641 f V^2 + 0,2395518 V^2$$

Del diagrama de moody utilizando la línea de tuberías lisas se asume un $f = 0,04$ y reemplazando en la ecuación obtenemos:

$$1,62 = 1,0223057 V^2 + 0,23955148 V^2 + 0,0509684 V^2$$

$$V = \sqrt{\frac{1,62}{1,3128256}} = 1,1108464 \text{ m/s}$$

Con esta velocidad se procede a calcular Reynolds para rectificar que el f asumido

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{1,1108464 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,01388 \text{ m}}{0,940 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1,640271 \times 10^4$$

Con este Reynolds se entra al diagrama de moody y se obtiene un nuevo $f = 0,026$

Con este nuevo f se calcula una nueva velocidad y luego un nuevo Reynolds:

$$V = 1,3024216 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = 1,9231 \times 10^4$$

Con este nuevo Reynolds se entra al diagrama de moody y se obtiene un $f = 0,0258$

Con este nuevo f se calcula una nueva velocidad y un nuevo Reynolds:

$$V = 1,3059212 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = 1,9283 \times 10^4$$

Obteniendo así un $f = 0,0258$ del diagrama de moody, como este valor ya se ha repetido se sabe que es el factor de fricción de la tubería y se procede a calcular el caudal con este valor

$$Q = V * A = 1,2440379 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{\pi}{4} (0,01388 \text{ m})^2 = 0,0001976 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,1976 \text{ L/s}$$

Del diagrama esquemático del sistema hidráulico para el agua caliente en la ducha del baño de los hombres repitiendo el procedimiento anterior se obtiene

$$V = 0,81968892 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 1,6827 \times 10^4$$

$$f = 0,026$$

$$Q = 0,00009915 \text{ m}^3/\text{s} = 0,09914767 \text{ L/s}$$

Del diagrama esquemático del sistema hidráulico para el agua caliente en la ducha del baño de las mujeres repitiendo el procedimiento anterior se obtiene

$$V = 0,78700242 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 1,6156 \times 10^4$$

$$f = 0,026$$

$$Q = 0,00009535 \text{ m}^3/\text{s} = 0,09534746 \text{ L/s}$$

5. IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se describe el proceso constructivo que se realizó para instalar de manera óptima el colector solar en la cubierta de los baños de los profesores de la zona de deportes de la UTP, ya que el colector solar se compró y de fábrica no venía listo para instalar.

El colector solar se encontraba en el techo de la facultad de ingeniería mecánica de la UTP, debido a esto el primer procedimiento fue bajar de manera cuidadosa el colector ya que cualquier falla en su bajada podría generar un golpe el cual repercutiría en dañar uno de los tubos de vacío.

Figura 38. Colector solar de tubo de evacuado en cubierta de duchas zona deportiva UTP.

Fuente: Autor.



Para el descenso del colector se contó con el acompañamiento de personal certificado en alturas que además contaba con las herramientas necesarias para realizar el procedimiento de la manera más segura para así proteger a toda cabalidad los tubos de vacío.

Figura 39. Proceso de descenso colector solar. Fuente: Autor.



Al contar con el colector solar a disposición se procede a llevar al taller de máquinas y herramientas de la facultad de ingeniería mecánica, ya que allí es donde se realizarán las modificaciones pertinentes para así lograr la mejor captación solar en el lugar de instalación

Figura 40. Desplazamiento de colector solar. Fuente: Autor.



Antes de comenzar a realizar las modificaciones se analiza el lugar de la instalación y se toman algunas medidas como el ángulo de inclinación de la cubierta, diámetro de tubería de empate y se analiza la localización adecuada para instalar el colector sin requerir muchas modificaciones en la estructura y forma de la cubierta. Anteriormente el baño de instalación contaba con un calentador de agua de tipo eléctrico, como ya cuenta con algunas modificaciones se considera utilizarlas.

Figura 41. Lugar de instalación colector solar. Fuente: Autor.



Al contar ya con medidas más precisas del lugar de la instalación, se procede a tomar las medidas para la modificación del colector para dejar de manera adecuada la estructura de él y así lograr la mayor absorción de energía del sol.

Figura 42. Colector solar lugar de modificación. Fuente: Autor.



Se procede a desarmar el colector con el fin de limpiarlo, realizar las modificaciones pertinentes e inspeccionar que todas las partes estén en buen estado y funcionen a cabalidad.

Figura 43. Despiece de colector solar. Fuente: Autor.



Con las medidas anteriormente tomadas se determinó que se debe alargar la canaleta donde va montado el tanque de almacenamiento para así lograr el ángulo de 6° con respecto a la horizontal en el cual el colector trabajará a mayor eficiencia, para este procedimiento se fabricaron unas platinas en acero de bajo calibre y se soldaron por personal especializado.

Figura 44. Fabricación de platinas de acero. Fuente: Autor.



Posteriormente se miden las platinas con la pieza del fabricante para evitar imperfecciones en el diseño, debido a que estas platinas estarán expuestas a la atmósfera se decide recubrir las con una pintura anticorrosiva.

Figura 45. Platinas de acero. Fuente: Autor.



Para lograr el ángulo anteriormente descrito se deben cortar las patas traseras de la estructura, procurando que queden con los grados de inclinación de la cubierta, para posteriormente ensamblarlas por medio de tornillos a las platinas.

Figura 46. Estructura de rigidez. Fuente: Autor.



Para generar mayor rigidez en la nueva forma de la estructura sin tener que hacer nuevas piezas se decide utilizar las suministradas por el fabricante, las cuales sin mayor modificación se van adecuando fácilmente.

Figura 47. Estructura colector solar. Fuente: Autor



De las piezas suministradas por el fabricante las que se modificaron de manera pertinente fueron las que formaban la estructura entramada en X de la parte lateral, ya que se le realizaron cortes con el fin de instalarlas y obtener mayor rigidez.

Figura 48. Estructura entramada en X. Fuente: Autor



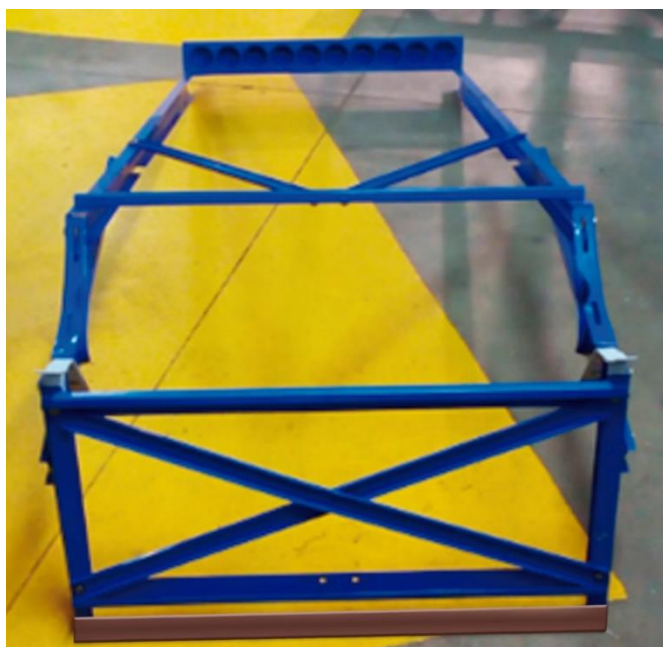
Para lograr que el sistema de flotación por el cual entra el agua fría funcione de manera correcta se instaló un codo de 30 ° el cual hace que entre los dos tanques quede el mismo ángulo con que lo vendió el fabricante. Posteriormente se instaló una válvula de compuerta en la salida del agua caliente para tener control sobre el caudal y la utilización del líquido.

Figura 49. Tubo soldado en forma cuadrada de soporte. Fuente: Autor



Para facilidad de la instalación del colector sobre la viga se suelda un tubo de forma cuadrada a las patas traseras permitiendo soportar con mayor facilidad el peso.

Figura 50. Estructura colector solar con modificaciones. Fuente: Autor



Al contar con la estructura del colector solar armada y con las modificaciones pertinentes, se procede a llevar al lugar de instalación y comenzar los últimos pasos, como es la instalación de la tubería de agua caliente y fría, además de la colocación de los tubos de vacío ya que por seguridad y facilidad se subió el colector a la cubierta sin los tubos puestos.

Figura 51. Proceso de anclaje del colector en la cubierta. Fuente: Autor



Para el sistema de sujeción del colector y la viga se decidió sujetar con dos prensas tipo C permitiendo así mayor comodidad y facilidad en la instalación. En el tanque de almacenamiento se instaló un tubo con el fin de generar un tipo chimenea para así liberar los gases dentro de él.

Figura 52. Colector solar instalado en cubierta. Fuente: Autor



CONCLUSIONES

En esta tesis se caracterizaron los diferentes tipos de colectores solares, en términos de función, aplicaciones, materialidad, diseño e instalaciones en el mundo.

Se tuvo en cuenta la influencia de la radiación y la incidencia solar para la instalación del colector solar, determinando la dirección y la inclinación de este, para así lograr la mayor captación solar por parte del colector.

Se modificó la estructura de un colector solar de tubo de evacuado, con el fin de lograr el mayor rendimiento de este, tomando en cuenta las determinantes para su instalación en el lugar, condiciones climáticas, lugar óptimo de instalación, análisis estructural de la cubierta, incidencia solar y análisis hidráulico.

Al analizar la viga se encontró que presenta esfuerzos menores a los admisibles lo cual garantizan una resistencia a las cargas verticales y laterales como lo son el viento ya que en el lugar donde se encuentra instalado está expuesto a fuertes ventiscas constantemente.

Este tipo de proyectos representan un referente importante para la sociedad y el cambio climático, y se puede percibir como una entidad investigadora como la UTP está implementando este tipo de tecnología con el fin de contribuir a la investigación y a la mitigación del cambio climático.

REFERENCIAS

- [1] ELISEO SEBASTIAN <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>[En línea]
- [2] ASTROJEM <https://astrojem.com/teorias/tierratraslacion.html>[En línea]
- [3]METEOROLOGIA EN RED <https://www.meteorologiaenred.com/la-radiacion-solar.html>[En línea]
- [4] BLOGDEQUK <https://www.blogdequk.com/2011/07/el-comportamiento-de-la-radiacion-solar.html> [En línea]
- [5] Gregorio Gil García, 2008, Energías del siglo XXI, Madrid España, Antonio Madrid Vicente
- [6] SCIELO <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n2/v13n2a07.pdf> [En línea]
- [7] Iván León, tesis, Análisis del potencial natural de viento, radiación solar y precipitación pluvial UTP, trabajo de grado, UTP, 2015.
- [8] REVISTA CIENCIA
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf [En línea]
- [9] Brian Norton, 2014, Harnessing Solar Heat, Dublin Irlanda, springer
- [10] Ari Rabl, 1985, Active Solar Collectors and Their Applications, Princeton, Nueva Jersey, EE. UU
- [11] IoanSarbu, CalinSebarchievici, 2017, Solar Heating and Cooling Systems fundamentals, experiments and applications, Academic Press
- [12] ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS
<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/flat-plate-collector.html>[En línea]
- [13]EDUCATION.<https://www.e-education.psu.edu/eme811/node/685> [En línea]
- [14] SPRINGER. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-0807-8_9.[Enlínea]
- [15] R.Z. Wang and T.S. Ge, 2016, Advances in solar heating and cooling, WoodheadPublishing.
- [16] ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS
<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>[En línea]
- [17] SITIO SOLAR. <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>[En línea]

- [18] GLOBLA SOLARE. <https://globalsolare.com/2017/04/17/historia-energia-solar/>[En línea]
- [19] Soteris A. Kalogirou, 2009, Solar Energy Engineering, Academic press.
- [20] 4E CHILE. <http://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2017/03/La-Tecnologia-Fresnel-CSP-GIZ-2014.pdf> [En línea]
- [21] Melik Z. Yakut Arif Karabuğa Ahmet Kabul Reşat Selbaş, Exergetic, energetic and environmental dimensions, Turquía, Academic press.
- [22] SCRIBD. <https://es.scribd.com/document/223637850/Colector-Fresnel> [En línea]
- [23] ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS. <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html>[En línea]
- [24] Keith Lovegrove and Wes Stein, Concentrating solar power technology, Woodhead Publishing, 2012.
- [25] ACADPUBL. <https://acadpubl.eu/jsi/2017-116-23-24/articles/24/15.pdf> [En línea]
- [26] ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS. <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/solar-dish-collector.html> [En línea]
- [27] ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS. <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/solar-power-tower.html>[En línea]
- [28] Renewables 2018, global status report, Ren 21
- [29] SAVOSOLAR. <https://sivosolar.com/savosolars-hand-over-of-condat-worlds-first-large-flat-plate-collectors-on-tracker/>[En línea]
- [30] PROTERMOSOLAR. <https://www.protermosolar.com/abengoa-idc-y-pic-inauguran-xina-solar-one-su-tercera-termosolar-en-sudafrica-con-almacenamiento-de-55h-3/>[En línea]
- [31] LANDART GENERATOR. <https://landartgenerator.org/blagi/archives/74630> [En línea]
- [32] INHABITAT. <https://inhabitat.com/this-massive-sun-ray-could-sustainably-power-220-homes-in-melbourne/> [En línea]
- [33] EVWIND. <https://www.evwind.com/2012/10/05/puerto-errado-2-inaugurada-la-termosolar-con-tecnologia-fresnel-mas-grande-del-mundo/> [En línea]
- [34] ENERGIAS RENOVABLES. <https://www.energias-renovables.com/termosolar/el-presidente-de-murcia-inaugura-la-planta-20121005> [En línea]
- [35] AVDEL GLOBAL. http://www.avdelglobal.com/fileadmin/user_upload/Data/PR_Data/2008_04_03_Andalso/Avdel_Andasol_espanol.pdf [En línea]

[36] ANDALUCIA INFORMACION.

<https://andaluciainformacion.es/andalucia/65284/inaugurada-la-planta-termosolar-andasol-1-en-aldeire/> [En línea]

[37] ENERGY NEWS. <https://www.energynews.es/dos-espanolas-en-la-puja-por-un-importante-proyecto-termosolar-en-dubai/> [En línea]

[38] ENERGIAS RENOVABLES. <https://www.energias-renovables.com/termosolar/rioglass-solar-firma-contratos-para-la-mayor-20190402> [En línea]

[39] SCOOPEMPIRE. <https://scoopempire.com/dubai-is-building-the-worlds-largest-concentrated-solar-power-plant/> [En línea]

[40] TIME SOFINDIA <https://timesofindia.indiatimes.com/city/udaipur/mt-abu-boasts-of-a-solar-plant-that-delivers-power-on-demand/articleshow/57980662.cms> [En línea]

[41] ARCHIVE.

https://web.archive.org/web/20120621195650/http://www.abengoasolar.com/corp/web/es/nuestras_plantas/plantas_en_operacion/espana/PS10_la_primera_torre_comercial_del_mundo.html [En línea]

[42] UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE

PEREIRA. <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6389/3677> [En línea]

[43] AJOVER. <http://www.ajover.co/wp-content/uploads/2016/08/fichatecnicalentadorsolarbajapresionajover.pdf> [En línea]